



Escuela Técnica Superior de  
**Ingeniería de Edificación**

**“RECUPERACIÓN DE VIVIENDAS EN CONDICIONES DE  
EMERGENCIA.**

**ESTUDIO DE CASO: VIVIENDAS RENFE (SEVILLA)”**

## **TESIS DOCTORAL**

Para la obtención del título de Doctor

Doctorando:

Antonio Ferreira Sánchez.

Directora de Tesis:

Director de Tesis:

Dra. Madelyn Marrero Meléndez.  
Profesora Titular.

Dr. Antonio Ramírez de Arellano Agudo.  
Catedrático Emérito.

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS II

**SEVILLA. ABRIL DE 2015.**

*A María por su apoyo y cariño*  
*A mis padres por sus esfuerzos*

*"If you can talk with crowds and keep your virtue,  
Or walk with Kings—nor lose the common touch,  
If neither foes nor loving friends can hurt you,  
If all men count with you, but none too much;  
If you can fill the unforgiving minute  
With sixty seconds' worth of distance run,  
Yours is the Earth and everything that's in it,  
And—which is more—you'll be a Man, my son!"*

If (26-32) Rudyard Kipling. *Rewards and Fairies*. 1910.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi agradecimiento al Vicerectorado de Infraestructuras de la Universidad de Sevilla por permitirme disponer de los datos, ensayos y resto de documentación recopilados durante la dirección de ejecución de las obras objeto de esta investigación.

A la Dra. Madelyn Marrero por dirigir esta tesis, por su paciencia conmigo y sus continuas indicaciones que han permitido llevarla a buen término.

Mi más profundo agradecimiento al Dr. D. Antonio Ramírez de Arellano Agudo por confiar en mí, por ser mi padre profesional y por todas sus enseñanzas.

A todos mis compañeros del grupo de doctorado por los buenos ratos en las reuniones y porque ellos han contribuido a esta tesis más de lo que, a priori, creen.

Al Dr. Rafael Lucas porque además de mi maestro es un gran amigo, por el ánimo y el buen humor que siempre me ha inculcado.

Quisiera dejar unas palabras de agradecimiento para todos los que trabajaron en la obra y que no menciono porque fueron muchos, ellos hicieron posible cumplir el objetivo. Me gustaría especialmente recordar a D. Antonio García Benítez “Garfu”, contratista y amigo que andará por el cielo construyendo algo.

A María por todo su apoyo y cariño, por no permitirme caer en el desánimo y creer en mí.

Por último y no menos importante, agradezco a mis padres todos los sacrificios que han hecho en la vida por mí y porque de ellos he aprendido la principal lección de todas, el esfuerzo en el trabajo.

**ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3. ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LA MATERIA.....</b>	<b>17</b>
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>
<b>5. ENTORNO FÍSICO .....</b>	<b>25</b>
5.1. Caracterización y evolución urbana de la zona .....	25
5.2. Descripción del edificio objeto. ....	31
5.2.1. Descripción histórica. ....	32
5.2.2. Cronología de los proyectos y de su construcción .....	33
5.2.3. Descripción formal y material del edificio .....	37
5.3. Circunstancias en la construcción del edificio colindante .....	43
<b>6. DIAGNÓSTICO DE DAÑOS.....</b>	<b>46</b>
6.1. Daños en el muro pantalla de CC de la Salud .....	47
6.2. Características geotécnicas.....	51
6.3. Reconocimiento geofísico.....	56
6.4. Daños en el edificio de viviendas objeto .....	58
6.4.1. Caracterización y seguimiento inicial de las lesiones .....	59
6.5. Daños en la urbanización .....	66
<b>7. INTERVENCIÓN EN EL EDIFICIO .....</b>	<b>69</b>
7.1. Condicionantes .....	70
<b>8. CIMENTACIÓN.....</b>	<b>72</b>
8.1. Solución adoptada .....	72
8.1.1. Descripción del recalce por micropilotes .....	73
8.1.2. Ejecución de la obras. Problemas y soluciones ensayadas ....	79
8.2. Alternativas disponibles .....	102
8.2.1. Recalces por técnicas tradicionales .....	103
8.2.2. Inyecciones armadas de cemento .....	109
8.2.3. Inyecciones con sistemas de resinas expansivas de poliuretano .....	112
8.3. Análisis de la solución y evaluación de las alternativas .....	116
8.3.1. Técnicas tradicionales frente a micropilotaje .....	116
8.3.2. Inyecciones armadas frente al micropilotaje.....	117
8.3.3. Inyecciones de resinas de poliuretano frente al micropilotaje. ....	117
<b>9. ESTRUCTURA Y FÁBRICAS DE LADRILLO .....</b>	<b>119</b>
9.1. Solución adoptada. Cosido mediante reconstrucción de hiladas.....	121
9.2. Alternativas disponibles .....	131
9.2.1. Grapeado de grietas/fisuras .....	132
9.2.2. Inyecciones de lechada .....	135
9.2.3. Bandas de polímeros reforzados con fibras (FRP).....	140
9.3. Análisis de la solución y evaluación de las alternativas .....	143



<b>10. CUBIERTA .....</b>	<b>146</b>
10.1. Solución adoptada .....	149
10.2. Alternativas disponibles .....	153
10.3. Análisis de la solución y evaluación de las alternativas .....	154
<b>11. REVESTIMIENTOS INTERIORES, CARPINTERIAS E INSTALACIONES .....</b>	<b>156</b>
11.1. Solución adoptada .....	156
11.2. Alternativas disponibles .....	162
<b>12. URBANIZACION .....</b>	<b>163</b>
12.1. Solución adoptada .....	163
12.2. Alternativas disponibles .....	167
<b>13. ASPECTOS SOCIALES DE LA INTERVENCIÓN .....</b>	<b>168</b>
13.1. Descripción de los condicionantes sociales en las intervenciones de emergencia .....	168
13.2. Acciones sociales .....	171
13.3. Implicación vecinal en la reparación .....	175
13.4. La gestión social y organización de obras de emergencia.....	175
<b>14. MODELO DE ACTUACIÓN .....</b>	<b>179</b>
<b>15. CONCLUSIONES .....</b>	<b>191</b>
<b>16. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>194</b>
<b>17. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>195</b>

## **INDICE DE FIGURAS.**

**\*Nota:** Se han denominado las figuras según el número de capítulo en el que se encuentran y su orden.

<b>Figura 5.1.</b> Cartografía histórica de la zona. (Cortes, et al. 1992). .....	25
<b>Figura 5.2.</b> Plano del Estado Mayor del Ejército de 1870. (Cortes, et al. 1992). .....	26
<b>Figura 5.3.</b> Plano del Estado Mayor del Ejército de 1884. (Cortes, et al. 1992). .....	27
<b>Figura 5.4.</b> Superposición de planimetría del Estado Mayor del Ejército de 1870 y actual. ....	28
<b>Figura 5.5.</b> Superposición de planimetría del Estado Mayor del Ejército de 1884 y actual. ....	28
<b>Figura 5.6.</b> Imagen aérea de la zona. Vuelo Americano 1953. ....	29
<b>Figura 5.7.</b> Plano Topográfico y Estado actual PERI nº2 "Resolana-Prolongación de Torneo. Gerencia de Urbanismo de Sevilla 1995 .....	31
<b>Figura 5.8.</b> Planta General del Proyecto original. (Archivo Fidas-Coas). ....	38
<b>Figura 5.9.</b> Fachada Principal del Proyecto original. (Archivo Fidas-Coas)... ..	39
<b>Figura 5.10.</b> Detalle original de cimentación (Archivo Fidas-Coas). ....	39
<b>Figura 5.11.</b> Imagen aérea del Campus Ciencias de la Salud antes del inicio de la Facultad de Enfermería .....	41
<b>Figura 5.12.</b> Imagen del estado de la obra al iniciarse los trabajos .....	42
<b>Figura 5.13.</b> Sección del proyecto de la Facultad de Ciencias de la Salud. .	42
<b>Figura 5.14.</b> Imágenes del estado actual de la edificación .....	43
<b>Figura 5.15.</b> Estado de la obra en el momento de los hechos. ....	44
<b>Figura 6.1.</b> Planteamiento general del estudio patológico (UNE 41805:2009). ....	47
<b>Figura 6.2.</b> Imágenes de los daños en acodalamiento .....	48
<b>Figura 6.3.</b> Imágenes de los daños en acodalamiento .....	48
<b>Figura 6.4.</b> Ubicación de los sondeos en el entorno .....	49
<b>Figura 6.5.</b> Gráficos obtenidos de movimiento de los inclinómetros.....	50
<b>Figura 6.6.</b> Detalle del plano Mapa Geológico de España 1:50.000 (Serie Magna). Hoja: 984.....	52
<b>Figura 6.7.</b> Estratificación del terreno según los sondeos realizados.....	54
<b>Figura 6.9.</b> Situación de las tomografías eléctricas Te 1,2, 3 y 4 en el entorno de la obra .....	56
<b>Figura 6.10.</b> Resultados obtenidos de la tomografía eléctrica .....	57
<b>Figura 6.11.</b> Ubicación de los puntos de instrumentación de fachadas.....	60
<b>Figura 6.12.</b> Grafica de asientos en fachada .....	60

<b>Figura 6.13.</b> Gráfica de velocidad de los asientos .....	61
<b>Figura 6.14.</b> Deformada de la línea de fachada a c/Abulcais .....	62
<b>Figura 6.15.</b> Distribución de las grietas y fisuras en el edificio .....	63
<b>Figura 6.16.</b> Esquema de la deformada de los muros de carga .....	64
<b>Figura 6.17.</b> Imagen del muro central fracturado y desplazo en dirección a la calle Abulcasis.....	64
<b>Figura 6.18.</b> Estado de la tabiquería interior.....	65
<b>Figura 6.19.</b> Detalles del estado interior de las viviendas.....	65
<b>Figura 6.20.</b> Calle Abulcasis acerado derecha .....	66
<b>Figura 6.21.</b> Calle Abulcasis acerado izquierda.....	66
<b>Figura 6.22.</b> Red de abastecimiento de la zona .....	67
<b>Figura 6.23.</b> Red de alcantarillado de la zona .....	67
<b>Figura 8.1.</b> Sección transversal de micropilote Ø140mm .....	73
<b>Figura 8.2.</b> Esquema de un micropilote de tipo IR o de Inyección Repetitiva .....	74
<b>Figura 8.3.</b> Esquema de cargas del edificio.....	75
<b>Figura 8.4.</b> Detalle del recalde de la cimentación .....	76
<b>Figura 8.5.</b> Plano de replanteo de micropilotes en el edificio .....	78
<b>Figura 8.6.</b> Plano de la organización de la obra .....	81
<b>Figura 8.7:</b> Detalle de la cimentación del edificio de viviendas .....	83
<b>Figura 8.10.</b> Cabezal de perforación en buen estado Ø140mm .....	84
<b>Figura 8.11.</b> Cabezal de perforación desgastado Ø140mm .....	84
<b>Figura 8.12.</b> Testigo extraído durante las perforaciones de zapatas .....	85
<b>Figura 8.13.</b> Testigo extraído durante las perforaciones de vigas de cimentación .....	85
<b>Figura 8.14.</b> Detalle de trialetas a utilizar .....	86
<b>Figura 8.15.</b> Trialetas adosadas a cabezal específicamente modificado y listo para comenzar la perforación. ....	86
<b>Figura 8.16.</b> Estado final.....	86
<b>Figura 8.17.</b> Equipo de perforación situado .....	86
<b>Figura 8.18.</b> Perforación en ejecución .....	86
<b>Figura 8.19.</b> Equipo sobre plataforma, corona de diamantes y testigo extraído .....	87
<b>Figura 8.20.</b> Equipo en ejecución .....	87
<b>Figura 8.21.</b> Perspectiva superior.....	87
<b>Figura 8.22.</b> Corona de diamantes con extensor.....	87
<b>Figura 8.23.</b> Fase 1.- Apertura de hueco con ahoyador .....	88
<b>Figura 8.24.</b> Fase 2.- Entubado con PVC y posterior perforación con taladro eléctrico.....	88

<b>Figura 8.25</b> Fase 1.- Excavación y colocación de tubería guía .....	89
<b>Figura 8.26.</b> Fase 2.- Relleno de cajeadado y posterior perforación. ....	89
<b>Figura 8.27.</b> Fase 1.- Ejecución de perforación con micropilotadora.....	90
<b>Figura 8.28.</b> Fase 2.- Entubación y perforación con taladro eléctrico.....	90
<b>Figura 8.29.</b> Imagen de la broca especial de diamante .....	90
<b>Figura 8.30.</b> Sistema en prueba, realizando el taladro de la zapata.....	90
<b>Figura 8.31.</b> Fase 1.- Perforación de zapata con martillo de fondo .....	91
<b>Figura 8.32.</b> Fase 2.- Ejecución de micropilote.....	91
<b>Figura 8.33.</b> Máquina posicionada para perforar .....	91
<b>Figura 8.34.</b> Detalle del varillaje de perforación.....	91
<b>Figura 8.35.</b> Detalle lateral, corona de perforación.....	92
<b>Figura 8.36.</b> Detalle inferior, corona de perforación.....	92
<b>Figura 8.37.</b> Proceso ejecución micropilotes .....	94
<b>Figura 8.38.</b> Armadura introducida en camisa .....	96
<b>Figura 8.39.</b> Limpieza interior de armadura .....	96
<b>Figura 8.40.</b> Obturador neumático.....	96
<b>Figura 8.41.</b> Obturador colocado .....	96
<b>Figura 8.42.</b> Proceso de ejecución de micropilotes. ....	97
<b>Figura 8.43.</b> Comparativa entre el volumen del edificio y el volumen de agua consumida.....	99
<b>Figura 8.44.</b> Excavación de pozos.....	101
<b>Figura 8.45.</b> Sistema instalado .....	101
<b>Figura 8.46.</b> Bomba fanguera y manguera .....	101
<b>Figura 8.47.</b> Depósitos .....	101
<b>Figura 8.48.</b> Cisterna en carga .....	101
<b>Figura 8.49.</b> Sistema en funcionamiento .....	101
<b>Figura 8.50.</b> Sección transversal. Esquema de hipotético recalce por aumento de superficie .....	105
<b>Figura 8.51.</b> Sección transversal. Esquema de hipotético recalce por profundización de apoyo .....	106
<b>Figura 8.52.</b> Esquema de actuación en abanico. (Da Casa et al 2007).....	110
<b>Figura 8.53.</b> Detalle de inyección. (Da Casa et al 2007) .....	110
<b>Figura 8.54.</b> Detalle de la posible solución por inyecciones armadas en la obra.....	111
<b>Figura 8.55.</b> Esquema del sistema de inyecciones de poliuretano expansivo .....	113
<b>Figura 8.56.</b> Grafica de la relación Resistencia –peso específico .....	113
<b>Figura 8.57.</b> Imagen de la resina .....	113

<b>Figura 8.58.</b> Esquema de la aplicación de inyecciones de resina expansiva en la obra .....	116
<b>Figura 9.1.</b> Esquema simplificado de asentamiento diferencial en una edificación .....	120
<b>Figura 9.2.</b> Grietas y fisuras en alzado principal y muro central .....	122
<b>Figura 9.3.</b> Identificación de las lesiones y selección de la solución a aplicar.....	124
<b>Figura 9.4.</b> Ladrillo tosco seleccionado .....	124
<b>Figura 9.5.</b> Inicio de la reparación de una grieta.....	124
<b>Figura 9.6.</b> Grieta reparada .....	124
<b>Figura 9.7.</b> Esquema de la deformada de los muros de carga .....	125
<b>Figura 9.8.</b> Imagen del muro central fracturado y desplazo en dirección a la calle Abulcasis.....	126
<b>Figura 9.9.</b> Estado inicial .....	126
<b>Figura 9.10.</b> Eliminación de las hiladas de apoyo y apeo.....	126
<b>Figura 9.11.</b> Aplomado del tramo de muro .....	126
<b>Figura 9.12.</b> Reconstrucción de las hiladas con mortero sin retracción.....	126
<b>Figura 9.13.</b> Reparación de muro central .....	127
<b>Figura 9.14.</b> Reparación de muro de fachada desde el interior .....	127
<b>Figura 9.15.</b> Esquema de asentamiento por la sección.....	127
<b>Figura 9.15.</b> Imagen del estado de tabiquerías .....	128
<b>Figura 9.16.</b> Imagen del estado de tabiquerías .....	128
<b>Figura 9.17.</b> Refuerzos transversales provisionales .....	128
<b>Figura 9.18.</b> Tabiquería de nueva ejecución .....	128
<b>Figura 9.19.</b> Esquema de la fractura de los cuerpos salientes A, B,C y D ...	129
<b>Figura 9.20.</b> Grieta en cuerpo A .....	129
<b>Figura 9.21.</b> Grieta en cuerpo D .....	129
<b>Figura 9.22.</b> Detalle del estado interior.....	130
<b>Figura 9.23.</b> Detalle del replanteo exterior.....	130
<b>Figura 9.24.</b> Detalle de los trabajos de reconstrucción.....	130
<b>Figura 9.25.</b> Detalle de los trabajos de reconstrucción.....	130
<b>Figura 9.26.</b> Detalle de reparación exterior. ....	130
<b>Figura 9.27.</b> Detalle de reparación interior .....	130
<b>Figura 9.28.</b> Acceso al Patio del Palacio de Wawel en Cracovia. Polonia....	133
<b>Figura 9.29.</b> Cerramiento Fábrica de Tabacos. Universidad de Sevilla.....	133
<b>Figura 9.30.</b> Vista frontal de grapa vertical (Vivienda Sevilla.....	134
<b>Figura 9.31.</b> Vista oblicua de grapa (Vivienda en Sevilla) .....	134
<b>Figura 9.32.</b> Esquemas de inyecciones por gravedad o por bombeo.....	137

<b>Figura 9.33.</b> Detalle de sellado de fisuras previas. (Araiza Garaygordóbil, 2005) .....	138
<b>Figura 9.34.</b> Detalles de inyección manual. Fuente: (Araiza Garaygordóbil 2005).....	138
<b>Figura 9.35.</b> Imágenes de ensayos con FRP. Fuente: (Araiza Garaygordóbil 2005).....	141
<b>Figura 10.1.</b> Imagen general de la cubierta .....	149
<b>Figura 10.2.</b> Detalle de fisura.....	149
<b>Figura 10.3.</b> Imagen parcial de la cubierta .....	149
<b>Figura 10.4.</b> Detalle de fisura.....	149
<b>Figura 10.5.</b> Ubicación de las fracturas en cubierta.....	150
<b>Figura 10.6.</b> Suciedad en la cubierta .....	150
<b>Figura 10.7.</b> Detalle de los sumideros .....	150
<b>Figura 10.8.</b> Levantado de solería .....	151
<b>Figura 10.9.</b> Inspección y sellado .....	151
<b>Figura 10.10.</b> Formación de pendiente.....	152
<b>Figura 10.11.</b> Solado .....	152
<b>Figura 10.12.</b> Levantado de solería .....	152
<b>Figura 10.13.</b> Retirada elementos de plomo.....	152
<b>Figura 10.14.</b> Impermeabilización junta.....	152
<b>Figura 10.15.</b> Solado. ....	152
<b>Figura 10.16.</b> Limpieza de la cubierta.....	152
<b>Figura 10.17.</b> Imagen general tras limpiar .....	152
<b>Figura 10.18.</b> Colocación de velo de fibra .....	153
<b>Figura 10.19.</b> Cubierta terminada .....	153
<b>Figura 11.1.</b> Imagen del estado previo y la posterior reparación en los revestimientos de una de las viviendas.....	158
<b>Figura 11.2.</b> Imagen del estado previo y la posterior reparación en los revestimientos de una de las viviendas.....	159
<b>Figura 11.3.</b> Imagen del estado previo y la posterior reparación en los revestimientos de una de las viviendas.....	160
<b>Figura 11.4.</b> Planta 1. Actuaciones de reparación llevadas a cabo .....	161
<b>Figura 12.1.</b> Urbanización del edificio.....	161
<b>Figura 12.1.</b> Grieta horizontal en el pavimento .....	164
<b>Figura 12.2.</b> Grieta transversal en el pavimento .....	164
<b>Figura 12.3.</b> Inspección de pozo atascado .....	165
<b>Figura 12.4.</b> Equipo de limpieza a presión .....	165
<b>Figura 12.5.</b> Manguera de limpieza en funcionamiento .....	165
<b>Figura 12.6</b> Detalle del cabezal de la manguera de limpieza .....	165

<b>Figura 12.7.</b> Trabajos de pavimentación .....	166
<b>Figura 12.8.</b> Trabajos de pavimentación .....	166
<b>Figura 12.9.</b> Trabajos de pavimentación .....	166
<b>Figura 12.10.</b> Trabajos de pavimentación .....	166
<b>Figura 13.1.</b> Gráfico de análisis de correspondencia entre factores. (Conde. 2007) .....	169
<b>Figura 13.2.</b> Ordenación urbanística de la zona .....	171
<b>Figura 13.3.</b> Esquema del paralelismo entre la intervención técnica y social .....	174
<b>Figura 14.1</b> Planificación general de las actuaciones.....	180
<b>Figura 14.2.</b> Esquema del modelo de actuación propuesto.....	187

## **INDICE DE TABLAS**

**\*Nota:** Se han denominado las tablas según el número de capítulo en el que se encuentran y su orden.

<b>Tabla 3.1.</b> Distribución patológica (Vieitez, et al. 1984).	18
<b>Tabla 3.2.</b> Distribución patológica según Grupo Español del Hormigón (1992).	18
<b>Tabla 6.1.</b> Nivel de la capa freática	55
<b>Tabla 6.2.</b> Composición del agua freática	55
<b>Tabla 6.3.</b> Relación entre velocidad de asiento y necesidad de intervención (Rodríguez. J.M 2007)	61
<b>Tabla 9.1.</b> Escala Burland de daños. (Burland, et al. 1977)	120
<b>Tabla 9.2.</b> Características de materiales para lechadas aglomerantes. (Araiza Garaygordóbil, 2005).	137
<b>Tabla 9.3.</b> Tabla comparativa entre aplicación de soluciones	145
<b>Tabla 11.1.</b> Tabla de criterios en las actuaciones llevadas a cabo	159
<b>Tabla 13.1.</b> Comparativa entre medidas PAP y Medidas aplicadas en la obra	177
<b>Tabla 14.1.</b> Desglose por capítulos del presupuesto de obra	181
<b>Tabla 14.2.</b> Distribución del presupuesto por actividades	182
<b>Tabla 14.3.</b> Precios Unitarios funcionales de las unidades de recalce	183



## 1.- INTRODUCCIÓN

En Sevilla, el 17 de junio de 2010 y durante las operaciones de vaciado en la construcción de la nueva Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Sevilla, se produce el desplazamiento de un muro pantalla del sótano. La descompresión del terreno produjo un asiento diferencial en la cimentación de un bloque de 40 viviendas de la denominada Barriada Renfe, situada junto a la obra. Debido a la aparición de grietas y fisuras que constataban el riesgo estructural, fue necesario el desalojo urgente de las viviendas y la atención de las personas afectadas. Tras la toma de medidas inmediatas de seguridad, para detener la progresión de los daños y verificar la efectividad de las mismas, se estableció un compromiso con los afectados para devolverles sus viviendas reparadas en el plazo de un año.

Inmediatamente se realizaron estudios del terreno, la caracterización de la edificación afectada y de las patologías presentes, así como un seguimiento del desarrollo de las mismas. Con estos datos y la designación de un equipo técnico (del que formó parte el autor de esta investigación), se estableció la necesidad de recuperar el edificio mediante un recalce por micropilotaje, la reparación de su estructura de fábrica de ladrillo y del resto de componentes. Concluyéndose las obras con éxito al cumplirse los plazos definidos para ello.

Situaciones en las que edificaciones residenciales deben ser desalojadas por daños estructurales severos, si bien suelen ser excepcionales, ocurren tanto debido a causas naturales (terremotos, inundaciones, etc.) como accidentales (afecciones por construcciones colindantes o patologías propias). Conllevan un elevado impacto en las personas afectadas y en los inmuebles, al verse privadas de sus viviendas y debido al riesgo para la integridad de la edificación respectivamente.

En estos casos se tiende a destacar únicamente las medidas iniciales de atención a los afectados y que realizan los organismos de salvamento o protección civil, así como las evaluaciones iniciales de las causas por parte de los técnicos. Se obvia la segunda parte, el diagnóstico y recuperación de las edificaciones en condiciones de emergencia, cuya realización recae dentro del ámbito técnico y que no está suficientemente investigada. Los factores, incertidumbres y condicionantes singulares que aparecen en este tipo de intervenciones, recomiendan su estudio para que en futuros casos, los procesos, técnicas y soluciones a aplicar sean de amplio conocimiento.

La presente investigación tiene como finalidad, desde el estudio del caso y de los datos recopilados durante la intervención, inferir los aspectos determinantes que hicieron posible cumplir con los compromisos de rehabilitar el edificio afectado.

En primer término se describirá el entorno físico y del edificio objeto de la investigación que, situado en las cercanías del río Guadalquivir, se caracteriza por ser un terreno de características deficientes y naturaleza aluvial.

Posteriormente se definirá el edificio afectado que, desarrollado en 4 alturas, lo forman 40 viviendas repartidas en cuatro bloques o portales. La edificación se construyó en los años 50 sobre una cimentación superficial y estructura vertical de fábrica de ladrillo en los muros de fachada e interior, siguiendo la tipología normal de las viviendas sociales de la época.

Más adelante y mediante toda la documentación recopilada durante el proceso se diagnostican y caracterizan los daños ocasionados en el edificio, se analizan en profundidad las características geotécnicas y geofísicas del terreno como paso previo a la intervención en el edificio.

A su vez la intervención se divide en los distintos subelementos que componen la edificación; cimentación, estructura vertical, cubierta, revestimientos y urbanización. En cada uno de éstos se describe la solución adoptada y se realiza un análisis comparado con las posibles soluciones disponibles. Con ello se pretende evaluar la idoneidad de la solución adoptada y las problemáticas en la aplicación de cada solución. Durante la investigación se demuestra que una correcta planificación, la organización de la obra en varios frentes de trabajo e implicar a las empresas adjudicatarias para resolver los problemas (problemas que no pueden ser detectados previamente debido a la escasez de tiempos previos de estudio en este tipo de obras), son factores que favorecen el cumplimiento de los objetivos temporales de este tipo de intervenciones.

Además de la complejidad técnica de intervenir sobre edificaciones estructuralmente dañadas y en un entorno urbano con limitaciones de espacio, un factor importante a tener en cuenta es el social. Éste condiciona en gran medida las soluciones a adoptar puesto que es necesario responder en el menor plazo

posible y con las máximas garantías de efectividad. Los afectados por los accidentes de edificación sufren los mismos síntomas psicológicos y fisiológicos que en las grandes catástrofes naturales por lo que es necesario mitigar estos efectos mediante la gestión efectiva del ámbito social de la intervención.

Para que la investigación sea de utilidad se exponen los datos relevantes de la obra y que fueron recogidos durante el desarrollo de la recuperación. Tras haber definido las soluciones aplicadas, se exponen los costes de la ejecución desglosados por capítulos conforme a los criterios del Banco de Costes de la Construcción de Andalucía, la planificación y la organización de las obras que se demuestran como vitales en la consecución de los objetivos temporales de la intervención.

Se propone un *“Modelo de actuación en edificaciones frente a daños y accidentes con repercusión social”*, con dos líneas de trabajo, una técnica compuesta de contención, diagnóstico e intervención y otra social formada por la atención básica, compromiso temporal e implicación de los afectados. Ambas líneas se conectan mediante procesos de comunicación y destinados a favorecer un clima de cooperación entre los afectados y el promotor de las obras de reparación, para que se puedan cumplir los objetivos temporales y finalizar con éxito las obras de recuperación.

## **2.- OBJETIVOS**

La realización de la presente tesis doctoral pretende dar respuesta a los siguientes objetivos:

- Descripción de la patología en un bloque de 40 viviendas afectado por la construcción de un edificio colindante. Evaluación de su estado y necesidades de reparación.
- Análisis comparado de las posibles soluciones, ventajas e inconvenientes y la justificación técnica finalmente aplicada.
- Análisis del impacto social en la toma de decisiones.
- Establecer un modelo de actuación extrapolable a situaciones similares.

### **3.- ESTADO DEL CONOCIMIENTO**

La crisis económica que ha marcado los últimos años y que ha influido notablemente en el sector de la construcción ha propiciado que, frente a la nueva planta, se potencien políticas de rehabilitación y recuperación de las edificaciones existentes. Así mismo, el desarrollo de la normativa y el apoyo institucional a través de ayudas económicas ha propiciado que se fomenten las mejoras en las condiciones de accesibilidad, eficiencia energética e instalaciones de edificios que a lo largo de su vida útil habían quedado obsoletos o deteriorados por falta de un adecuado mantenimiento e incluso por la aparición de patologías.

La recuperación de edificios lleva aparejada una serie de condicionantes (entorno físico, protección del patrimonio, materiales, etc.), es por esto que se han desarrollado modelos para presupuestar (Ramírez de Arellano. 2000) donde recoger las necesidades específicas para la valoración y se han creado procedimientos para determinar aspectos como la gestión de residuos (Marrero y Ramírez de Arellano. 2010), tan significativos dentro de los procesos de la ejecución.

Dentro de la recuperación de edificios es inevitable hablar de patologías y de su origen puesto que la presencia de estas determina la intervención. El estudio sistemático y metodológico de la patología como parte de la arquitectura se origina en Europa a partir de la finalización de la Segunda Guerra Mundial y debido a la necesidad de reconstrucción de los núcleos urbanos de las ciudades afectadas por la guerra. Si bien en su origen se plantearon más las tendencias sobre cómo rehabilitar, ciñéndose únicamente a criterios estéticos, con el paso de los años se han venido desarrollando diversos criterios metodológicos acerca de la relación origen-causalidad por parte de varios autores. Dentro de los autores españoles, es de referencia la teoría desarrollada por Monjo (1991) que organiza

las causas como activas o pasivas y las sitúa en el origen de la aparición de las patologías. Igualmente establece la diferenciación de las causas entre las directas y las indirectas, siendo las primeras el “origen inmediato del proceso patológico” y las segundas “errores y defectos de diseño o ejecución, que necesitan la conjunción de una causa directa para iniciar el proceso patológico”.

Cabe también destacar las concepciones de causalidad desarrolladas por el profesor Félix Lasheras (2012) en las que subdivide las causas en dos, las que proceden de la naturaleza del agente y su acción, y las que proceden de la naturaleza del elemento constructivo. Así mismo, establece los tipos de causas en “planos” concretamente en los que denomina plano material u objetivo y el plano operativo o subjetivo.

La primera referencia en el estudio de datos estadísticos relativos a las causas de las patologías en edificios en España se realiza por José Antonio Vieitez Chamosa y José Luis Ramírez Ortiz (Vieitez, et al. 1984), con el estudio de 586 informes provenientes de diversas fuentes y presentando frente a datos extraídos de estudios realizados a nivel europeo (Tabla 3.1).

Causas patología	Distribución en España (%)	Distribución en Europa (%)
Proyecto	41,2	42
Materiales	31,1	28,5
Ejecución	13,0	14,6
Utilización	10,9	9,6
Causas naturales	3,2	5,7

**Tabla 3.1.** Distribución patológica (Vieitez, et al. 1984).

En 1992 se publicaron y analizaron 844 casos procedentes de varias instituciones y en el ámbito de obras de hormigón armado, Tabla 3.2 (Grupo Español del Hormigón.1992). En el análisis destacan las patologías causadas por proyecto, materiales y ejecución, así como el hecho de que se presenten varias causas en una situación que explica su suma superior al 100%.

Causas patología	Distribución (%)
Proyecto	42,2
Ejecución	28,5
Materiales	19,2
Uso indebido	14,4
Acciones imprevistas	16,3
Otros	1,3

**Tabla 3.2.** Distribución patológica según Grupo Español del Hormigón (1992).

En el análisis estadístico de patologías a nivel nacional en los últimos años, destacan los 1820 casos tratados por la Mutua de Seguros de Arquitectos Superiores (Escribano, J, 1993) y en 2010 se estudian 205 casos en Galicia (Lamas. V, 2010).

Más reciente, es el estudio estadístico de las patologías en la tesis doctoral de Aragón Fiterra (2010), los datos provenientes de la inspección técnica de edificios promovida por la Xunta de Galicia, concretamente de 746 edificios. Cabe destacar la conclusión de que el 1.9% de cimentaciones estudiadas fueron afectadas por patologías y un 5% por asientos diferenciales, frente a los datos expuestos por Vietez-Ramírez (1984) del 19% y del 5.6% respectivamente, indicándose que estos datos se deben a las buenas características generales del terreno en Galicia.

No existen estudios previos acerca de las patologías generadas por causas accidentales o naturales y son escasas investigaciones sobre los efectos a pesar de que conllevan grandes daños estructurales.

Hay que diferenciar dos vertientes en el estudio de estas causas, englobando por un lado las accidentales y que se relacionan con los efectos que producen la construcción de edificaciones, aparcamientos subterráneos o de infraestructuras como redes de metro o abastecimiento en el entorno, mientras que por otro hay que tratar los daños que producen fenómenos naturales como los terremotos, las inundaciones o los corrimientos de terreno.

Acerca de los que se pueden denominar como accidentes de edificación existen muy pocas referencias de estudio, esto se debe principalmente a que suelen llevar aparejados responsabilidades en los agentes intervinientes. Quizá el caso más llamativo en España son las actuaciones llevadas a cabo en el Barrio del Carmel. El 27 de enero de 2005 y tras el hundimiento parcial de las obras del túnel de la nueva línea 5 del metro, aparece de un socavón de 320m<sup>2</sup> que produce el hundimiento de un edificio completo y el descalzado del colindante, el mismo día se desalojan 84 edificios. La totalidad de las actuaciones llevadas a cabo ascendieron a 81.208.695,76€ entre indemnizaciones, demoliciones y actuaciones posteriores (Bravo et al. 2008). Es interesante resaltar que, a pesar de la oportunidad para la divulgación de datos de los que se pueden extraer multitud de conocimientos, existen pocos estudios sobre este accidente y es un ejemplo de ello el estudio de Barbosa (2010) sobre la modelización numérica del proceso patológico en un edificio afectado y respecto al resto de actuaciones de carácter técnico o social, no existen referencias destacables.

La construcción de redes de metro es una fuente de conocimiento acerca del comportamiento de los edificios frente a los asentamientos y de los posibles daños asociados, estudios como el de Camós (2014) acerca de la respuesta estructural de un grupo de viviendas de fábrica de ladrillo situada sobre el trazado de una línea de metro, aplicando el estudio numérico y comparándolo a las estimaciones de daños definidas por Burland y Wroth (Burland et al. 1974). La construcción del metro en Sevilla y su influencia en las edificaciones, se han incluido estudios por parte de Justo (1994) y Arozamena (2012), que ponen de

manifiesto, entre otros aspectos, los efectos y medidas de protección para las edificaciones cercanas al trazado de la línea.

A nivel internacional los estudios de Skempton (1957), Burland (1974) (1977) y Wahls (1981) han sido la base en la estimación de la tolerancia de los edificios a los movimientos del terreno. Sus estudios se centraron en casos en los que los desplazamientos horizontales del terreno eran insignificantes y donde se estableció una relación entre la distorsión angular y los daños. Posteriormente estudios como los de Boscardin (1977) (1978) o Mahar (1981) desarrollaron la importancia de los desplazamientos verticales y horizontales en la tolerancia a los asentamientos debidos a movimientos en el terreno por excavaciones y sus daños en las estructuras (Boscardin et al. 1989).

Además de las causas accidentales, el estudio de los daños en las edificaciones se ha centrado en las causas naturales. De todas las posibles causas naturales los terremotos, sus efectos y las técnicas de protección, han sido estudiados en profundidad. De casos como el terremoto de la ciudad de México en 1985 se pudieron hacer estudios estadísticos iniciales entre los daños y las técnicas de reparación (Aguilar et al. 1989). En países con gran sismicidad como Grecia se han aprovechado los datos recogidos a lo largo de años para desarrollar técnicas de intervención (Anagnostopoulos et al. 2008a) y gestión de este tipo de catástrofes (Anagnostopoulos et al. 2008b). El terremoto de L'aquila (Italia) en abril de 2009 permitió estudiar los efectos en edificaciones históricas y la correlación entre los daños y las técnicas tradicionales de ejecución y refuerzos (Celebi et al. 2010). En otro caso, como los terremotos de Turquía en 2011, permitieron estudiar los efectos en las diversas tipologías constructivas, usos y materiales de las edificaciones, para posteriormente mejorar las infraestructuras y normativas vigentes (Tapan et al. 2013). Entidades nacionales de gestión de emergencias como la Federal Emergency Management Agency (FEMA) de EE.UU han creado manuales que permiten prever los posibles daños en las edificaciones en función de sus características, geometría, materiales y comportamiento en terremotos anteriores (FEMA, 2002).

Más allá de los efectos de los desastres naturales en las edificaciones, los procesos posteriores de rehabilitación se muestran muy complejos y sometidos a multitud de condicionantes (económicos, técnicos, sociales o legales). La necesidad de reforzar estructuralmente edificaciones dañadas para evitar futuros daños, el coste de este tipo de intervenciones que deben asumir los propietarios, las aseguradoras o las administraciones condicionan las decisiones técnicas o las soluciones a aplicar. Experiencias como la del terremoto de Wenchuan (China) en 2008, donde el temblor alcanzó una magnitud de 8.0 en la Escala de Richter y supuso la pérdida de 88.000 vidas, ha permitido desarrollar un modelo para facilitar la toma de decisiones en materia de refuerzo estructural de los edificios dañados. Este modelo se basa en la técnica del árbol de decisión y que ayuda a



definir la solución más adecuada económicamente eliminando los factores subjetivos en la toma de decisiones (Zhang, et al. 2011).

En España la referencia más cercana en materia de intervenciones de emergencia es la proporcionada por la experiencia del terremoto de Lorca (Murcia) el 11 de mayo de 2011, donde 9 personas murieron y 324 fueron heridas, teniendo que desplazar una población de 60.000 personas en la primera noche. De los aproximadamente 7.800 inmuebles que se compone Lorca, un 80% quedaron dañados en distinto grado y tras la evaluación inicial un 4.88% tuvieron que ser demolidas, el 8.27% quedaron afectadas de un riesgo estructural severo y un 19.26% con un daño estructural leve o moderado (Pascual Santamaría et al. 2012). De este evento se pudieron extraer multitud de lecciones de entre las que cabe destacar la necesidad de aumentar la formación de los técnicos en la evaluación de daños en siniestros y la necesidad de corregir errores que comúnmente existen en la construcción (Carreño et al. 2012).

Como se ha indicado anteriormente, los posibles daños ocasionados sobre las edificaciones, ya sean por causa natural o accidental, han sido estudiados en los diversos ámbitos de la ciencia como la geotécnica, la sismología, el cálculo de estructuras, etc. Normalmente estableciendo la relación causa-efecto de los procesos patológicos para así poder desarrollar el conocimiento sobre las técnicas, materiales e incluso mejorar las normativas o códigos de construcción de cada país o zona.

A pesar de todo ello, se detecta una falta de estudios que recojan las experiencias posteriores a los accidentes de edificación y de las que también se pueden extraer conocimientos acerca de: la efectividad de las medidas adoptadas, las técnicas de reparación más aconsejables, los costes asociados, los condicionantes de las rehabilitaciones. Tras cualquier siniestro hay un trabajo más allá de la asistencia a los afectados, la evaluación de los daños y el análisis de las causas. En ese momento se inician las complejas labores de reparación o rehabilitación y llevan aparejadas condicionantes de tipo social, técnico y económico. Es importante desarrollar el conocimiento en ese sentido de manera que los técnicos estén capacitados para afrontar circunstancias excepcionales y partiendo de referencias previas.

En cualquier caso, la prevención es la tendencia a nivel internacional, la necesidad de establecer medidas de prevención pasan por hacer públicos datos de accidentes o siniestros en la edificación. Algún autor (Ortega. I, 2000) incluso desarrolla ideas acerca de hacer públicos no solo los accidentes, sino también los incidentes de menores consecuencias y de los cuales, produciéndose con mayor frecuencia, se puede extraer más información, copiando así técnicas vigentes en las industrias de la aeronáutica o la médica-anestésica.

Finalmente, cabe destacar el cambio de tendencia dentro de la edificación, la sensibilización acerca de las necesidades sociales en la rehabilitación se muestra en aspectos como el interés de arquitectos en campos anteriormente limitados a las organizaciones no gubernamentales de asistencia social (Quinejure et al. 2011). El mayor ejemplo de ello es el arquitecto Shigeru Ban, premio Pritzker de arquitectura 2014, por su trayectoria dedicada a la arquitectura en situaciones de emergencia y realizada mediante materiales de fácil acceso y construcción. Desde el terremoto de Kobe (Japón) en 1995 o la crisis humanitaria de Ruanda en 1999, pasando por Chengdu (China) en 2009 hasta L'aquila (Italia) en 2009, Shigeru Ban ha desarrollado una arquitectura basada en el cartón y en técnicas de montaje sencillo para devolver a las personas aquello que más se necesita tras un desastre, un hogar.

## 4.- METODOLOGÍA

La metodología a seguir en la investigación se caracteriza por tener las siguientes fases:

1. Entorno físico

En este apartado se expondrán las características tanto físicas como históricas de la zona en la que se ubica el edificio objeto. Se expondrá el desarrollo urbano del entorno más cercano a la ubicación, muy influenciado por la presencia del río Guadalquivir y cómo este ha condicionado tanto en la construcción como en las soluciones constructivas que se tomaron en el inmueble. Se describirá el edificio objeto de estudio, su concepción formal y principales características técnicas y materiales. También se describirán los incidentes que originaron el proceso patológico y que son punto de inicio de las medidas llevadas a cabo.

2. Diagnóstico de daños

Se describirán los ensayos y pruebas llevadas a cabo al terreno para conocer sus características. De igual modo se realizará una caracterización de los daños producidos tras el incidente, valorando su estado, la gravedad de las afecciones y su desarrollo observado en la monitorización del edificio y su entorno.

3. Intervención en el edificio

La definición de los principales condicionantes en las obras de emergencia se expondrá en este apartado. La complejidad de intervenir en inmuebles desalojados y gravemente afectados en su estructura requiere la definición de una serie de medidas complementarias.

4. Solución adoptada

Se describirá la solución adoptada para cada uno de los elementos funcionales del edificio (cimentación, estructura de fábrica, cubierta,

revestimientos interiores, carpinterías, instalaciones y urbanización). Indicando las características materiales o técnicas y los problemas observados en su aplicación al caso de estudio. De igual modo, se expondrán las medidas que permitieron su aplicación.

5. Alternativas disponibles

Se analizarán cada una de las posibles alternativas disponibles para la reparación de los elementos funcionales del edificio, describiendo sus características principales y la aplicabilidad al caso de estudio. Se indicarán las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas para finalmente realizar un análisis comparativo.

6. Aspectos sociales de la intervención

En este apartado se expondrá cómo el entorno social de la intervención condiciona gran parte de las medidas técnicas y organizativas a aplicar. Basado en la experiencia adquirida en la obra, se analizarán una serie de factores que deben ser tenidos en cuenta para conseguir los objetivos planteados en este tipo de obras. Se analizará cómo la implicación vecinal es necesaria para llevar a buen término las obras en el plazo definido y minimizar así los efectos negativos sobre las personas, propios de las catástrofes y desalojos.

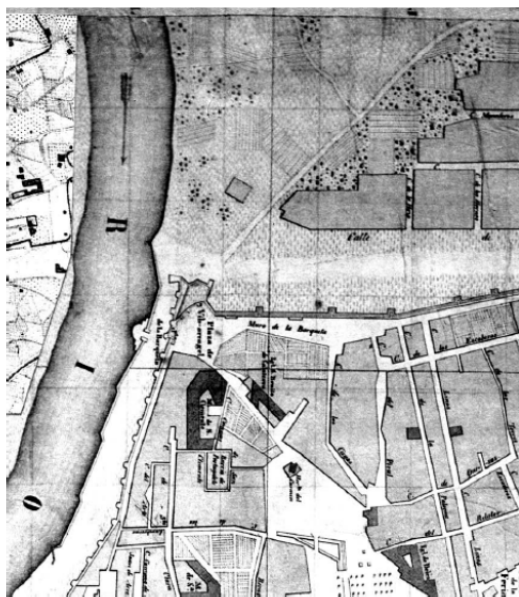
7. Modelo de actuación

Los datos más relevantes de la intervención, como el coste, la planificación y las medidas sociales llevadas a cabo durante las obras, tras una análisis conjunto de todos los factores, definen un modelo de intervención para este tipo de situaciones.

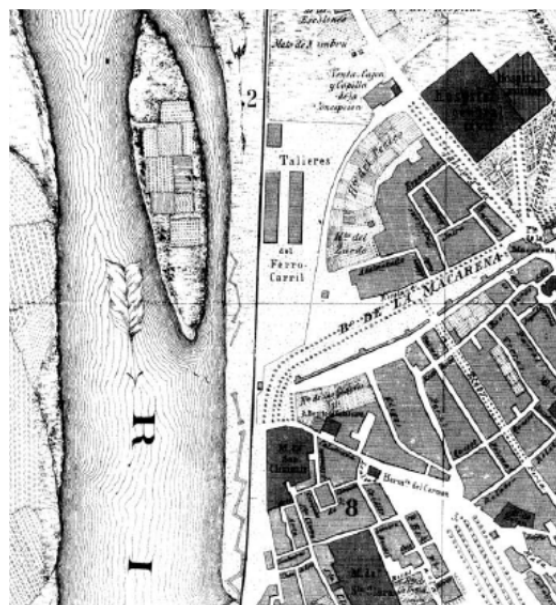
## 5.- ENTORNO FÍSICO

### 5.1.- Características y evolución urbana de la zona

El edificio objeto de este estudio se sitúa al norte del casco histórico de Sevilla, en una zona aledaña al cauce original del Río Guadalquivir y que hasta mitad del siglo XIX fue de uso agrario como se puede observar en el plano de José Herrera Dávila de 1848 (Figura 5.1). Posteriormente y tras la introducción del ferrocarril en la ciudad, la zona acogerá esta como su actividad principal y que ha caracterizado su evolución hasta inicios del siglo XXI.



Plano José Herrera Dávila 1848. (Girado 90°ACD)



Plano Álvarez Benavides 1868

**Figura 5.1.-** Cartografía histórica de la zona. (Cortes, et al. 1992).

La primera referencia de actividad ferroviaria se encuentra en el plano de Álvarez Benavides de 1868 (Figura 5.1), en este ya se aprecia el asentamiento de las instalaciones ferroviarias en la zona, concretamente de edificios destinados a

La presencia de un gran alfaque frente a la zona donde se asientan los talleres será un dato relevante en el caso de estudio, puesto que como se muestra en el plano realizado por el Estado Mayor del Ejército en 1870 y su posterior actualización en 1884 (Cortes et al. 1992), el cambio en la fisionomía del río en esta zona condicionará las características geotécnicas del terreno en que se asientan los edificios objeto de análisis.



Es muy significativo que en la actualización del plano de 1870 realizada por el Estado Mayor en 1884 (Figura 5.3), se puede observar como el curso del río se ha modificado sustancialmente en la zona. Se aprecia como aún existiendo el mencionado malecón, el caño ha quedado cegado y el curso del río limitado a la



parte oeste del alfanje preexistente creándose una zona de protección para las instalaciones ferroviarias. Esta circunstancia pudo verse favorecida tras la gran inundación de 1876 (Cortes. José, et. al 1992) de la que se tiene constancia de su gran magnitud y de cómo afectó al cauce del río.



**Figura 5.3.-** Plano del Estado Mayor del Ejército de 1884. (Cortes, et al. 1992).

La anterior es de relevante interés dado que realizando una superposición de la planimetría de 1870 y de 1884 (Figura 5.4) sobre el actual trazado urbano de la zona, y tomando como referencia el anteriormente denominado Hospital Central Civil y actual sede del Parlamento de Andalucía u Hospital de las Cinco Llagas, se puede comprobar que la situación de los edificios que son objeto de la presente tesis corresponde con los aledaños del antiguo cauce del caño menor del alfaque que se situaba en el cauce del río a mediados del XIX.

En esta superposición de la cartografía de 1870 y la actual, se puede observar que los bloques de la denominada Barriada Renfe se encuentran ubicados a unos escasos 70 metros del cauce original del río. La parcela en la que se sitúa la Facultad de Ciencias de la Salud parcialmente ocupa el tramo de caño menor entre el alfaque referido y la orilla este del cauce original. Cabe destacar la presencia del malecón destinado a la retención de sedimentos para el cegado del caño y la superposición del trazado viario del arrabal de la Macarena con la cartografía actual.



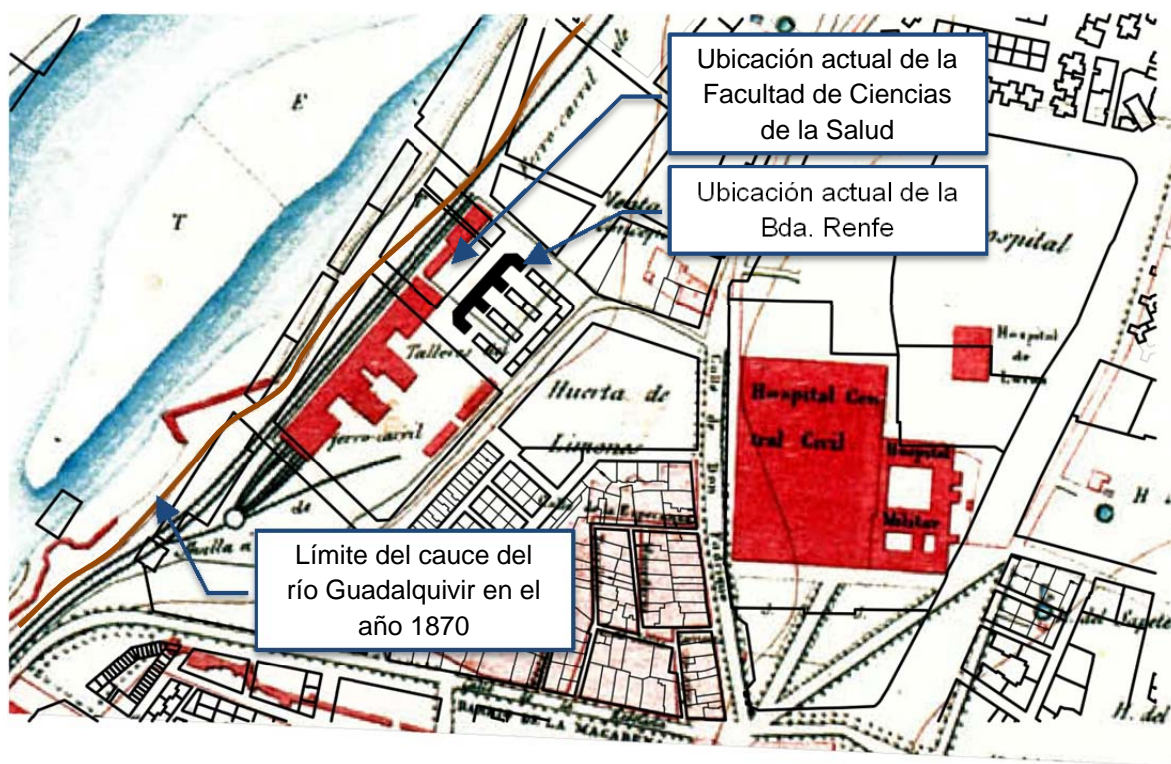


Figura 5.4.- Superposición de planimetría del Estado Mayor del Ejército de 1870 y actual.

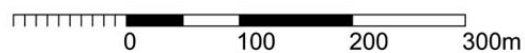
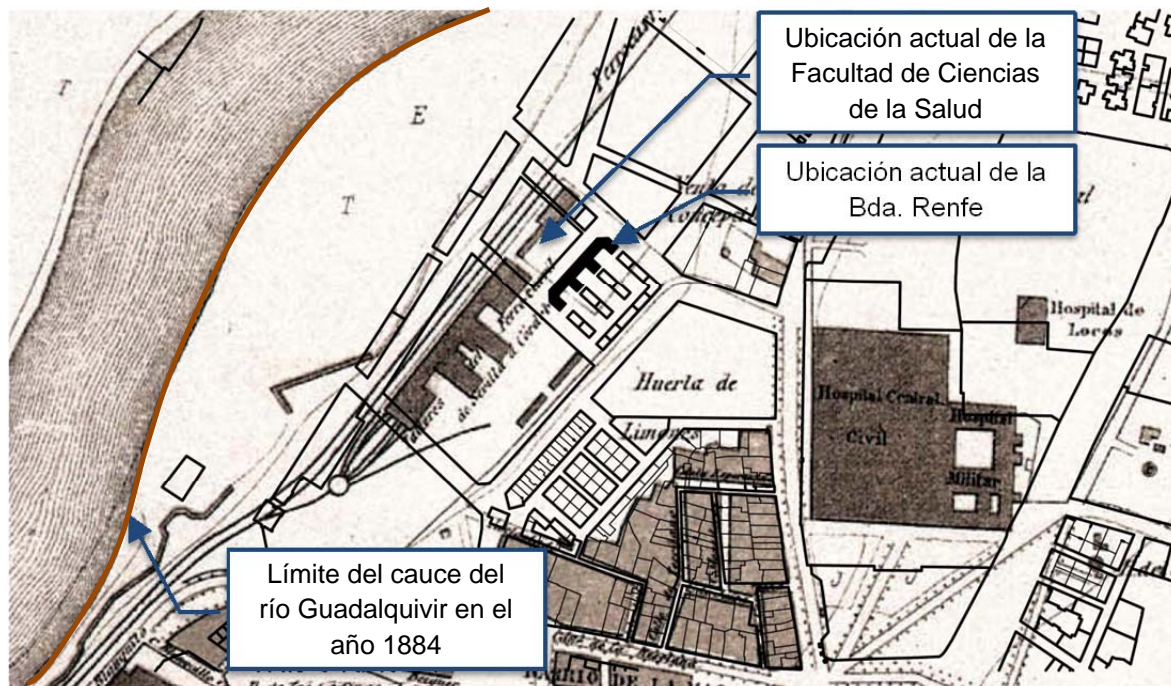


Figura 5.5.- Superposición de planimetría del Estado Mayor del Ejército de 1884 y actual.



Aplicando el mismo sistema sobre la planimetría de 1884 (Figura 5.5) se aprecia la situación respecto al cauce modificado del río, donde la lámina de agua se desplaza al oeste del alfaque preexistente. Por lo que se entiende que dicho caño fue cegado con material procedente del cauce del río y característico de este tipo de sedimentaciones.

La zona sufrirá pocas modificaciones hasta mediados del siglo XX, entre finales del siglo XIX y mediados del XX se instalan en la zona una serie de industrias atraídas por el carácter periférico de la zona, prueba de ello es la denominada Torre de los Perdigones y su fábrica aledaña "Fundición de Plomo San Francisco" inaugurados en 1885, que es el elemento más característico de la zona y de la arquitectura industrial de la época. Mantendrá carácter ferroviario de la zona hasta que a partir de los años 70 del siglo XX la presión demográfica de la zona desplace la industria implantada en el entorno y que a finales de los años 80 se inicien las obras de desmantelamiento de la infraestructura ferroviaria a fin de su renovación y centralización en la nueva Estación de Santa Justa construida para la Exposición universal de 1992.

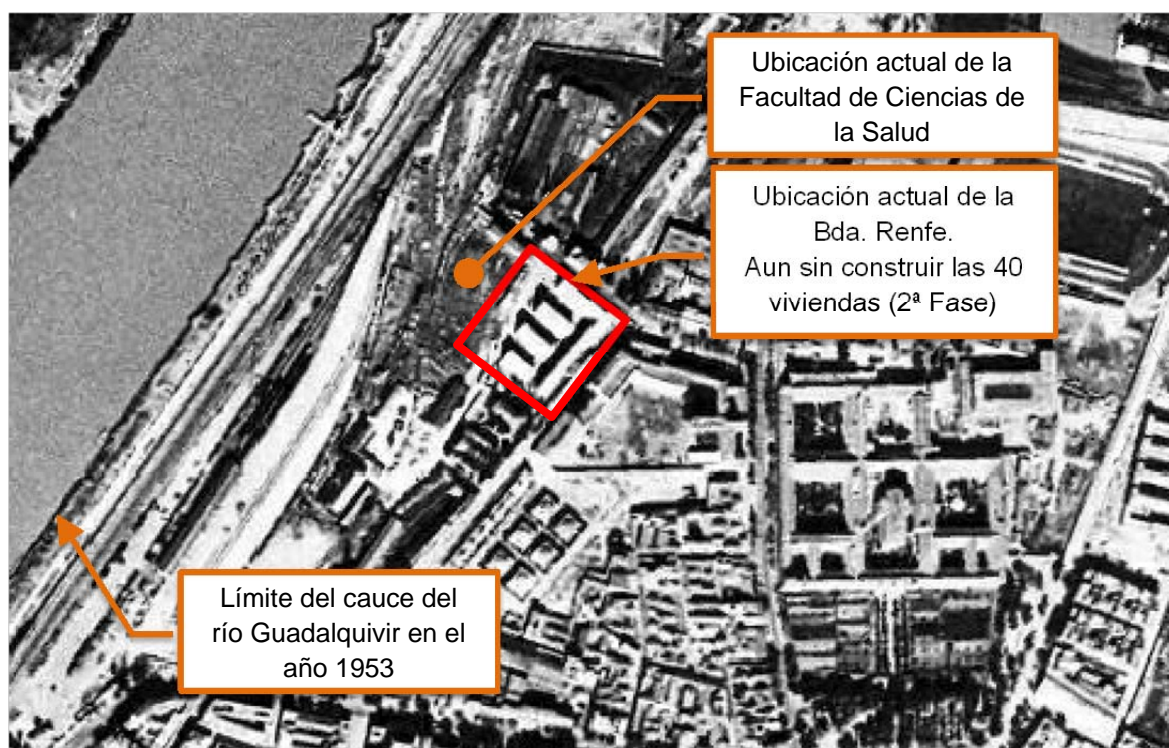


Figura 5.6.-Imagen aérea de la zona. Vuelo Americano 1953

La construcción de la denominada como Barriada Renfe se realiza a partir de principios de los años 50, ya en el denominado Vuelo Americano de 1953 (Ayto. de Sevilla 2014) se aprecia la primera fase de construcción (Figura 5.6). El origen de la construcción de la barriada reside, como en muchos otros núcleos

residenciales promovidos por RENFE en los años 50, en la necesidad de dotar de viviendas al personal operario. Ello conlleva la creación de núcleos o incluso poblados en zonas cercanas a las instalaciones ferroviarias creando colonias de trabajadores, hecho que igualmente fue favorecido por la creación del Instituto Nacional de la Vivienda, cuya finalidad era la de promover y financiar la construcción de viviendas protegidas asequibles para los trabajadores (De Luis. E. 2003). Este aspecto queda presente dada la similitud tipológica y constructiva de otras barriadas obreras de Sevilla contemporáneas a la Barriada Renfe (Barriadas Huerta del Carmen o Pío XII).

La zona no sufrirá cambios sustanciales hasta entrados los años 80, el marcado carácter industrial de la zona, su disposición aislada frente al desarrollo residencial del norte de Sevilla y el uniforme origen laboral de sus residentes (el cual aún se hace notar entre los mismos y el nomenclátor de las calles interiores que hacen referencia a modelos de trenes de pasadas épocas) harán de ella más una zona residencial asociada a RENFE que un espacio urbano asociado al entramado urbano. Como circunstancias concomitantes se pueden alegar la traza de sus edificios que se cierran en sí mismos creando una barriada interior y la disposición de servicios propios como fue el economato para personal de RENFE presente en la zona hasta los años 80 y que se ubicaba en la actual parcela de la Escuela de Enfermería.

Tras la desafección de los terrenos ferroviarios a finales de los 80 dentro de los proyectos de remodelación de la ciudad para la Exposición Universal de 1992, la zona cae en decadencia tanto física como social, en primer lugar por la degradación de las edificaciones industriales de la zona sin uso y en segundo por el asentamiento de chabolistas en la zona.

La reurbanización de la zona tal y como está configurada actualmente se realizará en base al PERI nº2 "Resolana-Prolongación de Torneo" de 1995 (Figura 5.7) (Gerencia de Urbanismo. 1995), donde se define la reurbanización de la zona y los usos generales de las distintas parcelas, si bien con posteriores modificaciones puntuales como el paso de uso deportivo a uso educativo de la parcela donde actualmente sitúa la Escuela de Enfermería.



**Figura 5.7.-** Plano Topográfico y Estado actual PERI nº2 “Resolana-Prolongación de Torneo. Gerencia de Urbanismo de Sevilla 1995.

A partir del desarrollo urbanístico de la zona, se dota de infraestructuras adecuadas y una nueva organización basada en el carácter dotacional y residencial de la misma. La zona aledaña a la denominada Torre de los Perdigones, tras la demolición de los restos de la fábrica original, quedará configurada como zona verde y el espacio entre esta y la Barriada Renfe será zona educativa universitaria.

A partir de finales de los años 90 se construirán los bloques de viviendas de la prolongación de Torneo y tras ellos, la construcción de las actuales Facultades de Odontología, Fisioterápica y Enfermería, para así según los planes de la Universidad de Sevilla concentrar en la zona cercana al Hospital Virgen Macarena el Campus de Ciencias de la Salud, tal y como se encuentra actualmente.

## **5.2.- Descripción del edificio objeto**

El edificio de viviendas objeto de esta tesis forma parte de la denominada “Barriada Renfe” o “Viviendas Renfe”, situado en el Distrito Macarena de la ciudad, queda delimitado por las calles Abulcasis al este, Maimoides al norte, Avenzoar al sur y Perafán de Rivera al este.

De planta regular y simétrica en su eje axial, cierra la cara este de la Barriada con sus bordes achaflanados y cuatro cuerpos salientes que prolongan las trazas del restos de edificios que componen el núcleo.

### **5.2.1.- Descripción histórica.**

La fuente documental principal de este apartado proviene de los archivos del antiguo Instituto Nacional de la Vivienda que actualmente se encuentran en el Archivo General del Ministerio de Fomento. En ellos se ha encontrado una completa documentación relativa a la adjudicación y de los cambios realizados en los proyectos originales de la misma, así como del desarrollo de obras, certificaciones, comunicaciones entre agentes, documentación técnica, etc.

De manera complementaria se ha consultado el archivo privado, relativo a la obra en concreto, del arquitecto Fernando Barquín y Barón en la Fundación para la Investigación y Difusión de la Arquitectura en Sevilla (FIDAS) del Colegio de Arquitectos de Sevilla (COAS). Si bien en este caso la documentación consultada era más concreta de las labores de dirección de la obra.

Cabe destacar que el conjunto residencial es la composición de dos fases de construcción distintas y sutilmente diferenciadas, que si bien compartieron parcialmente como arquitecto director a D. Fernando Barquín y Barón, tuvieron orígenes diferenciados.

La primera fase, tras el encargo del Instituto Nacional de la Vivienda, tiene como origen un diseño del arquitecto D. Alfonso Fungairiño Nebot y otro desconocido puesto que aparece su rúbrica pero no su nombre, a pesar de que en alguna publicación se atribuya el diseño del conjunto a Barquín (VVAA. 2007). Este proyecto sería denominado: “Proyecto de grupo de 104 viviendas protegidas en Sevilla. Plaza de Armas.” (Ministerio de Fomento. 1956) y fechado en 1947. Posteriormente y dadas unas serie de circunstancias ocurridas durante el desarrollo de las obras, se redactará un proyecto final que recoge las modificaciones necesitadas y con fecha de junio de 1950, ya únicamente suscrito por D. Alfonso Fungairiño Nebot.

En cambio, la segunda fase es diseñada en enero de 1957 por el arquitecto D. Fernando Barquín a instancia de RENFE y del Instituto Nacional de la Vivienda, denominada como “Ampliación en 40 viviendas en el grupo de 104 en Sevilla. Plaza de Armas. Renfe” en enero de 1957 del que se llamará finalmente “Segundo Proyecto Reformado y Revisado de 144 (104+44) viviendas” con fecha de mayo de 1957.

Del análisis del conjunto de la documentación se ha podido comprobar que D. Fernando Barquín se hace cargo de las labores de la dirección de las obras tras la finalización de la cimentación de la primera fase, puesto que aparece su rúbrica en las certificaciones mensuales y otras documentaciones técnicas relacionadas con la obra.

### 5.2.2.- Cronología de los proyectos y de la ejecución de las obras.

Dado que se considera importante conocer, para el conocimiento global de las circunstancias y de las posibles causas patológicas relacionadas con el accidente, los antecedentes del edificio relacionados con su construcción, se ha profundizado en el estudio de la documentación técnica y administrativa relacionada con el proceso de su construcción, para conocer las circunstancias materiales, técnicas y de los agentes intervinientes.

Se considera de mucha utilidad realizar una descripción de las circunstancias que rodearon la ejecución del conjunto edificatorio a fin de entender, más adelante en el presente estudio, el comportamiento de la edificación frente al proceso patológico.

Con fecha 1 de junio de 1948 se aprueba por parte del director general del Instituto Nacional de la Vivienda el proyecto denominado “Proyecto de grupo de 104 viviendas protegidas en Sevilla. Plaza de Armas” con un presupuesto de contrata de 5.423.029,79 pesetas al que RENFE aportaría 602.559,98 pesetas, para hacer un presupuesto total de contrata de 6.025.599,77 pesetas. En este proyecto se hace referencia, en el apartado destinado a describir el terreno, a que: *“El terreno es de dureza media según los datos recogidos en el mismo y en él hay una zona de relleno que eleva su rasante sobre la del camino particular”*. De igual modo se proyecta una cimentación por macizado de zanja con hormigón en masa, colocando una solera de hormigón en todas las plantas bajas sobre capa de carbonilla para asiento del pavimento. Licitándose con fecha 30 de noviembre de 1948, se declara inicialmente desierto el concurso, para posteriormente, con fecha 6 de junio de 1949, adjudicar la obra a la empresa denominada CONSTRUCCIONES VAZQUEZ S.A. con un presupuesto de contrata de 5.285.000 pesetas.

El inicio de las obras se indica en el denominado “Documento 1. Memoria” del proyecto final de obra de 104 viviendas y fechado en Madrid en junio de 1953. En el documento se recoge lo siguiente: *“... en agosto de 1949 comenzó esta empresa (Construcciones Vázquez) a atravesar un periodo de dificultades internas que frenaron su actividad, no pudiendo efectuarse el replanteo de las obras hasta la fecha 10 de noviembre de 1949.”*

En el expediente de gestión administrativa del proyecto, se indica que con fecha 27 de noviembre de 1950 se incluye y aprueba acta de precios contradictorios relacionados con la cimentación del edificio. Estos consisten en dos: *“...m/l de excavación y hormigonado de pilote de 42cm armado con redondo de 18mm, incluido maquinaria, perforación, hormigonados y materiales. El segundo, a m/l perforación y hormigonado del m/l de pilote de 63cm armado con redondo de 18mm, incluido maquinaria y materiales.”*

Se puede comprobar cómo, ya durante la ejecución de la primera fase de las obras, se detectó que las características de terreno no eran adecuadas y eran necesaria la toma de medidas que garantizaran la estabilidad del edificio. Se consideró que la cimentación definida en el proyecto original mediante relleno de zanjas por medio de hormigón armado era claramente insuficiente, como se muestra también en la memoria del proyecto final de la primera fase, que dice: *“Comenzada la excavación, pudo advertirse que, la naturaleza del terreno, parecida a la de todo el subsuelo de Sevilla, reunía en este caso pésimas condiciones, apareciendo debajo del terreno de labor, una arcilla floja, seguida de gredas y encontrando aguas en profundidades variables alrededor de los 4 metros. Entonces, se estudió la posibilidad de cimentar sobre una zapata corrida, como base, de hormigón pobre, sobre la que correría un zuncho armado, como se ha empleado con buen éxito en algunos edificios de Sevilla de superficie no muy extensa”*. Cabe destacar a modo de inciso y dado el valor para el análisis posterior, que está será la solución constructiva adoptada en la construcción de la cimentación de la fase dos (y objeto de este trabajo) del grupo de viviendas.

Se entiende en este punto que no siendo el arquitecto director, que en ese momento era D. Alfonso Fungairiño Nebot, de la ciudad de Sevilla, valora algunas de las técnicas locales para cimentar edificios similares. Finalmente descarta esta solución dado que: *“El sistema indicado no ofrecía absoluta garantía en este caso dada la gran longitud de los edificios el grupo proyectado, lo que hacía tener diferencias de asiento”* y posteriormente en el texto justifica esta decisión basándose en construcciones cercanas que presentan grietas en fachada asociadas a asientos diferenciales.

Ante las dudas que arroja la mala calidad del terreno, el arquitecto decide adoptar una solución que garantice la estabilidad de la cimentación a pesar del coste derivado de técnicas, en ese momento, aún no muy comunes: *“Estas circunstancias animaron a pensar en un sistema de cimentación de mayor garantía, como el pilotaje, empleado en Sevilla en varias ocasiones de edificios de gran altura en relación con los de la localidad más corrientes, de altura de dos y tres plantas. Con los edificios del grupo que nos ocupa, están proyectados de 4 plantas, y el terreno tiene un subsuelo de una calidad ínfima entre los que se encuentran en Sevilla, se decidió la adopción del pilotaje, aun teniendo en cuenta su mayor coste”*.

La necesidad de realizar estos trabajos por medio de alguna empresa especializada, según indica la memoria del documento, lleva al Instituto Nacional de la Vivienda a la redacción de los mencionados precios contradictorios y que se recogerían en el documento denominado “Grupo de 104 viviendas protegidas en Sevilla. Plaza de Armas. Revisión de precios de obra ejecutada” firmado por D.

Alfonso Fungairiño con fecha de julio de 1952 y que consta en el expediente consultado.

*“...se procedió a llevar a cabo esta clase de obra, hincando pilotes de hormigón armado zunchados con diámetros de 0.42m y 0.63m, según las cargas que habían de soportar en cada caso. Se colocó mayor número de los mayor diámetro, pues en los tanteos de cálculos que se hicieron, advirtió la conveniencia de reducir el número de pilotes, aun con aumento de las luces de la viga cadena que ha de enlazar todas las cabezas de los pilotes y servir de base para la estructura del edificio.”*

En la documentación gráfica del documento existe un plano con la cimentación de los bloques del grupo construidos en la primera fase, conjuntamente con el saneamiento del grupo y las cotas. Se destaca en la leyenda del plano que se denominan los pilotes como Pilotes RODIO Ø630mm y Pilotes RODIO Ø420mm.

El coste total de la cimentación ejecutada ascendió a 944.098,24 pesetas, la realización de estas obras supuso que la empresa adjudicataria “Construcciones Vázquez” abandonase las mismas alegando dificultades financieras derivadas de la paralización de las obras. La rescisión de contrato se aprobó por oficio de 13 de mayo de 1953.

Se volvió a redactar por parte de D. Alfonso Fungairiño Nebot un nuevo proyecto de ejecución, fechado en junio de 1953 y en el que se recogen las modificaciones sufridas por el conjunto edificatorio. Dicho proyecto fue presupuestado en 7.917.712,80 pesetas. Además del nuevo sistema de cimentación del mismo se indican como medidas complementarias:

- El desplazamiento de la ubicación del conjunto hacia la calle Perafán de Ribera (Desplazamiento en sentido este), “trasladándolos hacia la zona de mejor subsuelo”.
- Se modifica el programa de necesidades del proyecto original a un programa mínimo a fin de reducir la superficie de las habitaciones.
- La adopción de las medidas anteriores supuso el diseño de crujías de 3.50m de luz, modificando el ancho de los bloques de los 8.60m metros originales a 7.75 metros.

Posteriormente, tras la rescisión de contrato de la primera empresa, se vuelve a subastar públicamente las obras, ascendiendo el presupuesto de licitación a 6.337.852,22 pesetas dado que se liquida a la empresa saliente los trabajos ejecutados.

Con fecha 28 de febrero de 1955 se adjudican las obras a la empresa “Constructora Asturiana S. A.” por un importe de contrata de 5.887.298,11

pesetas. De esta manera se continúan con los trabajos de ejecución del grupo de viviendas en su primera fase.

Más tarde y a instancias de la Dirección General de Renfe, el 9 de enero de 1958, se aprueba un aumento del presupuesto aprobado hasta los 13.287.611,95 pesetas para la ampliación del núcleo de viviendas según proyecto denominado “Segundo Proyecto Reformado y Revisado de 144 (104+44) viviendas” de fecha 6 de mayo de 1957, firmado ya por el arquitecto D. Fernando Barquín. Donde se justifica la ampliación de las obras en 40 viviendas *“Dada la necesidad de viviendas que la Renfe tiene en Sevilla y vista de que en el solar propiedad de la misma en que se están construyendo 104 permite la construcción de otras nuevas, se procede a redactar este segundo proyecto (...) Como las 104 viviendas del primitivo Proyecto eran de tipo obrero, es decir, con cocina-comedor, se ha considerado conveniente hacer de tipo para personal de categoría superior a aquellas las nuevas 40 viviendas.”*

La entrada de D. Fernando Barquín como arquitecto director de las obras puede fijarse a partir del 31 de octubre de 1955, tras la nueva adjudicación de las obras y dado que en el documento “Presupuestos” del “Segundo Proyecto Reformado y Revisado de 144 (104+44) viviendas” indica esa fecha como límite de presupuestos de obra no revisados y revisados.

A partir de este momento no se destacan, ni en el expediente técnico ni administrativo, incidencias en las obras. Si bien es muy relevante y revelador, para la investigación que se lleva a cabo en esta investigación y cómo se analizará más adelante, la presencia de un documento del Departamento de Personal y Asistencia Social de RENFE (Codificado como V-43bis/422) dirigido a D. Fernando Barquín con fecha 20 de febrero de 1957, en el que se le insta a iniciar las obras en el menor plazo posible tras la conformidad de la empresa “Constructora Asturiana. S.A”. Así mismo insta a hacer calicatas en el terreno *“a la mayor profundidad posible y se pruebe la resistencia del terreno con la finalidad de obtener una máxima economía en la cimentación”* (FIDAS-COAS, 2014).

Así mismo en un escrito de fecha 29 de noviembre de 1958 (V-43bis/2152) similar al anterior, insta al arquitecto a modificar la planta baja, ejecutando un forjado sanitario *“pues tenemos que poner todos los medios para evitar futuros asientos que a la larga se producen en los terrenos”*. Siendo contestado en escrito de D. Fernando Barquín de fecha 19 de febrero de 1959, en el que se indica que estando ya la solera de Planta baja ejecutada, se realizará dicho forjado sanitario únicamente en los zonas húmedas.

Con fecha 17 de febrero de 1958 se realiza la recepción provisional de las 104 viviendas de la primera fase y, posteriormente, con fecha 18 de julio de 1959 la recepción provisional de las 40 viviendas de la segunda fase.



Existen otra serie de documentos que muestran las incidencias previas a la entrega de las viviendas, concretamente uno de fecha 18 de febrero de 1958 (V-43bis/309) y otro de 6 de marzo de 1959 (V-43bis/402), en los que se pone de manifiesto la presencia de humedades en los muros de planta baja y que no serán repecionadas mientras no sean reparados.

Finalmente, el día 23 de agosto de 1960 y reunidos los representantes del Instituto Nacional de la Vivienda, de RENFE, de la constructora y el arquitecto director, se recepcionaron de manera definitiva las 144 viviendas correspondientes a la totalidad del grupo. Liquidándose las obras en 13.270.290,14 pesetas, lo que supone una diferencia de 17.321,01 pesetas menos de la cantidad aprobada con fecha 9 de enero de 1958.

### **5.2.3.- Descripción formal del edificio**

El grupo de 104 viviendas se compone de 4 edificios, el mayor alineado con las calles Maimonides y Perafán de Rivera y tres interiores de menores dimensiones. Todo el conjunto se desarrolla en PB+3 y se vertebrada desde el interior del mismo, a donde abren los portales de acceso de los bloques que lo conforman, seis en el bloque mayor y dos en cada uno de los tres edificios de menores.

El edificio de 40 viviendas se desarrolla en PB+3, el acceso a las viviendas se realiza desde las calles interiores de la barriada, denominadas TER, TAF y Talgo (Figura 5.8), siendo un total de 40 viviendas distribuidas de la siguiente manera: TER 8 (8 viviendas), TAF 6 (12viviendas), TAF1 (12viviendas) y Talgo 1 (8 viviendas). Con una planta de 876,00 m<sup>2</sup>, el total de la edificación cuenta con 3.504,00m<sup>2</sup> de superficie construida.

La edificación comparte las características propias y diseño formal de las viviendas sociales de los años 50-60 y que son comunes a muchas de las promociones de viviendas obreras que se realizaron en la ciudad en esa época como respuesta al desarrollo demográfico e industrial (Figura 5.8). No se aprecian ni se tiene constancia de que la edificación haya sido objeto de ningún tipo de intervención, ni a nivel estructural ni formal. Los únicos cambios realizados en la edificación durante su uso efectivo han sido de distribución y acabados interiores, dado que tras la venta de las viviendas por parte de RENFE a los inquilinos en los años 90, estas han sido revendidas a terceros o reformadas para adaptarlas a los gustos particulares.

En el proyecto original se cimenta sobre un sistema triple zapatas corridas de hormigón en masa de 1.50x0.50m, 1.10x1.00m y 0.70 x 1.00m de canto, sobre el cual se dispone de una viga armada de 40cm de espesor y 1.20 m de canto (Figura 5.10). Transversalmente se compone de dos crujías cuya longitud abarca la totalidad del edificio, con juntas de dilatación entre los distintos bloques. Las

crujías apoyan sobre tres muros de carga, dos de fachada y uno interior, realizados con ladrillo macizo hasta la primera planta y realizándose las dos superiores con hiladas verdugadas de ladrillo macizo y hueco.

Los forjados del edificio, del sistema denominado “autárquico” (Elabora. 2010 b), propios de la época dominada aún por la escasez de materiales heredada del aislamiento económico de España tras la Segunda Guerra Mundial. Se caracterizan por ser un sistema realizado “in situ” mediante piezas cerámicas de aligeramiento, hormigón de bajas características y barras de acero liso. La conexión entre plantas se realiza por escaleras de dos tramos de bóvedas de ladrillo macizo siendo la técnica usual en la época de construcción.

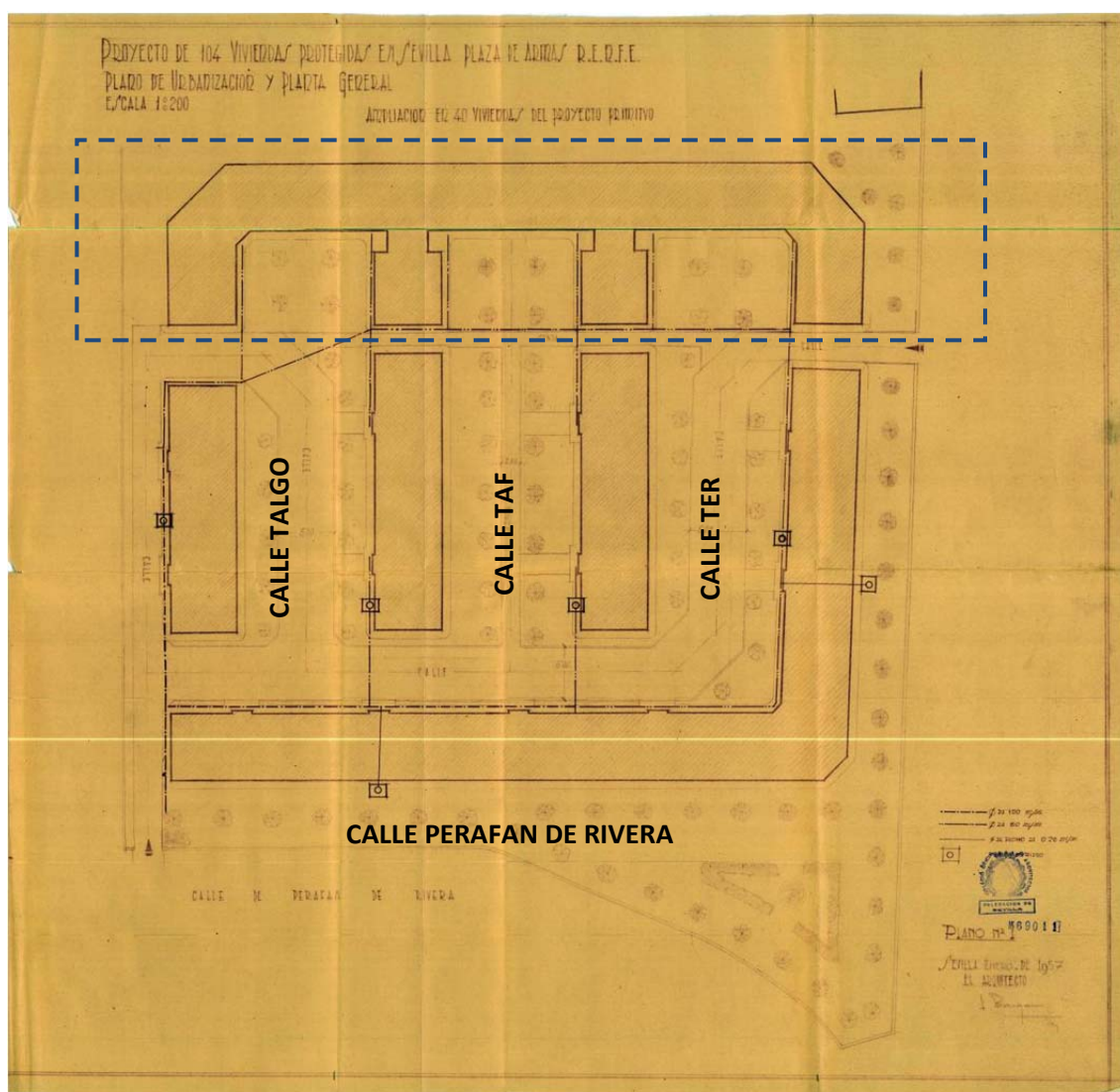


Figura 5.8.- Planta General del Proyecto original. (Archivo Fidas-Coas).



Figura 5.9.- Fachada Principal del Proyecto original. (Archivo Fidas-Coas).

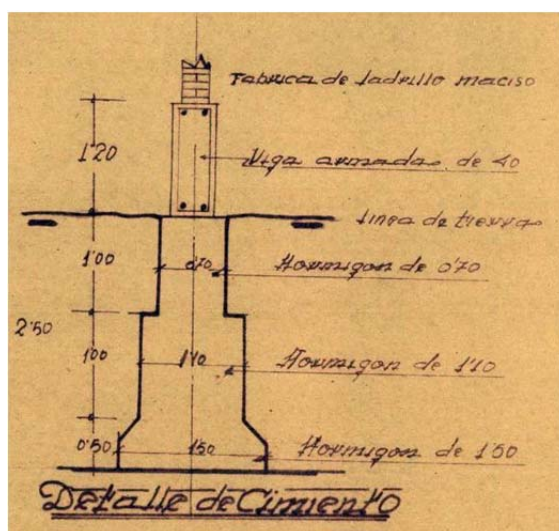


Figura 5.10.- Detalle original de cimentación (Archivo Fidas-Coas).

De cubierta plana no transitable y accesible únicamente desde el bloque Talgo 1, la formación de pendientes se realiza con carbonilla y se reviste de baldosa 14x28, una solería perdida y una de terminación colocada a la palma. Las juntas de dilatación de la cubierta coinciden con las de la estructura y la evacuación de las aguas se realiza mediante bajantes de fibrocemento.

La distribución interior de las viviendas varia conforme a la ubicación dentro del conjunto, si bien, todas cuentan con baño, cocina, salón y dos o tres dormitorios.

En su estado original, el exterior del inmueble se termina con mortero de cemento pintado en las fachadas, alfeizares de piezas cerámicas vidriadas y carpintería de madera en ventanas con vidrio simple. Los huecos de ventanas se realizaron con las dimensiones de 1.30x1.60, 1.30x1.30 y 0.70x0.70m en función de su ubicación dentro de la distribución general de los pisos.

El interior en zonas comunes se realizaba con yeso en paramentos verticales y techos, mientras que el revestido del escalonado se realizaba mediante un revestimiento de terrazo realizado in situ y pulido. El revestimiento interior de las viviendas se acababa mediante solería hidráulica roja en toda la vivienda,

alicatado a media altura con azulejo blanco en baño y cocina, lavadero con pileta y yeso en todas las paredes y techo. Las viviendas contaban, en materia de instalaciones, con suministro eléctrico y de agua, y con los sanitarios del baño debidamente conectados al saneamiento del edificio.

Como es lógico, el paso de los años y la adaptación de las viviendas a nuevos tipos de acabados e incluso de distribución, que los usuarios de las mismas van introduciendo, modifican el aspecto general de estas de distinta manera, existiendo en el momento de la intervención una heterogenia completa en las 40 viviendas que forman el conjunto.

El uso de las viviendas siempre se ha restringido al residencial y si bien en origen las viviendas se destinaban en exclusiva a trabajadores de RENFE, en la actualidad y tras la opción de venta de estas a los usuarios en los años 90, la propiedad de las viviendas recae en personal anteriormente relacionado con la empresa ferroviaria y con personas no vinculadas que adquirieron sus viviendas a ocupantes originarios.

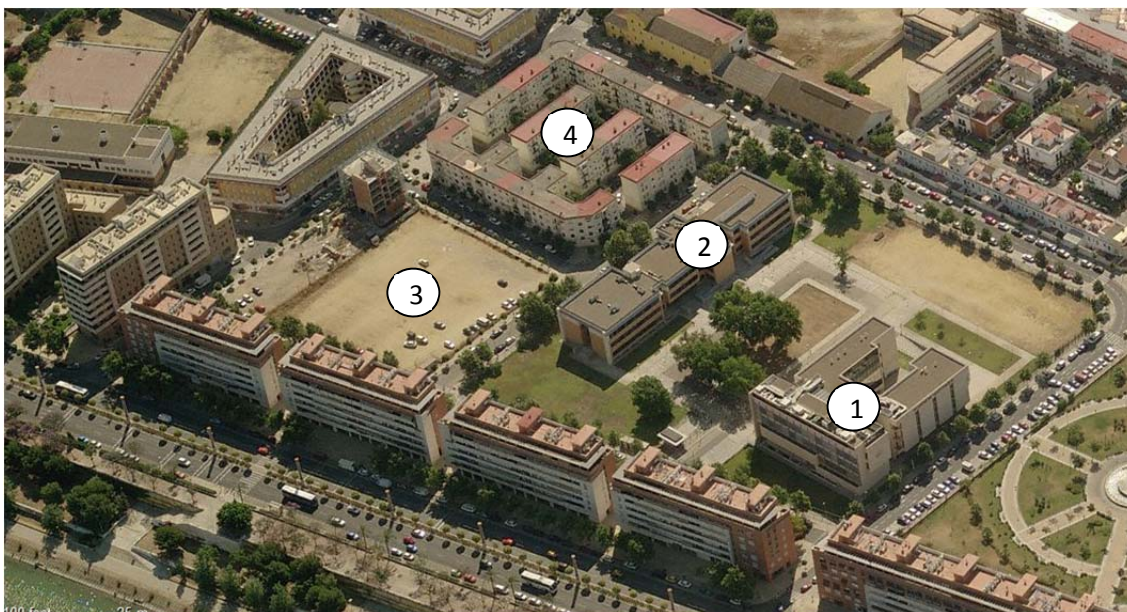
### **Descripción del nuevo edificio destinado a Facultad de Ciencias de la Salud**

Dentro de los planes estratégicos de la Universidad de Sevilla a principio del siglo XXI se decide reorganizar las infraestructuras asociadas a la rama sanitaria y hasta ese momento aglutinadas en el Hospital Universitario Virgen Macarena. Se crea el denominado Campus de Ciencias de la Salud en los terrenos anteriormente ocupados por las instalaciones ferroviarias en el área de Torneo, aprovechando la reorganización urbana de la zona. La primera en implantarse es la Facultad de Odontología, tras ella la Facultad de Fisioterapia y por último la Facultad de Ciencias de la Salud, (Figura 5.11).

El proyecto de la misma se encarga a los Servicios Técnicos de la propia universidad, siendo el proyectista el arquitecto Andrés Agudo Martínez. La ubicación del edificio en esta parcela responde a la firma de un convenio urbanístico entre el Ayto. de Sevilla y la Universidad tras el cual quedó calificada en el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) como dotacional público, equipamiento educativo y sistema general.

La parcela es de traza trapezoidal y de una superficie de 4.341.85m<sup>2</sup>, se encuentra rodeada por las calles Avicena, Avenzoar y Abulcasis, siendo su lindero norte un vial peatonal que separa con la parcela contigua. Topográficamente se caracteriza por ser plana con un desnivel máximo de 1.14m y se encuentra dotada de los servicios públicos necesarios para su uso.





**Figura 5.11.-** Imagen aérea del Campus Ciencias de la Salud antes del inicio de la Facultad de Enfermería. 1.- Facultad de Odontología.; 2.- Facultad de Fisioterapia; 3.-Ubicación de la Facultad de Ciencias de la Salud; 4.-Viviendas Renfe.

Se proyecta un edificio de planta irregular desarrollado en 5 alturas sobre un aparcamiento subterráneo de cuatro plantas con capacidad para los usuarios finales del edificio. La superficie construida total se proyecta en 21.359,37m<sup>2</sup> y consta de aulas, seminarios, departamentos, un salón de actos y una cafetería. Igualmente se encuentra dotado de todos los equipamientos e instalaciones necesarias.

Con fecha 16 de julio de 2008 se concede licencia por parte de la Gerencia de Urbanismo dentro de las actuaciones llevadas a cabo en el expediente 2104/07 del Servicio de Licencias Urbanísticas al proyecto denominado “Construcción de la Escuela Universitaria de Ciencias de la Salud: Centro docente de Enfermería y Concesión de la explotación de aparcamientos subterráneos en parcela denominada Torre de los Perdigones” con un importe de licitación después de impuestos de 6.600.322,55€, siendo adjudicatario del mismo la Empresa Tecnología de la Construcción S.A. (TECONSA) por un importe de 4.500.000,00€.

Meses después de la adjudicación la empresa entra en concurso de acreedores por lo que se cancela el contrato habiéndose ejecutado únicamente los muros pantalla, los anclajes y parcialmente la excavación. Debido a los procedimientos administrativos de cancelación de contrato y la nueva licitación de las obras se produce un periodo de inactividad de más de un año (Figura 5.12).

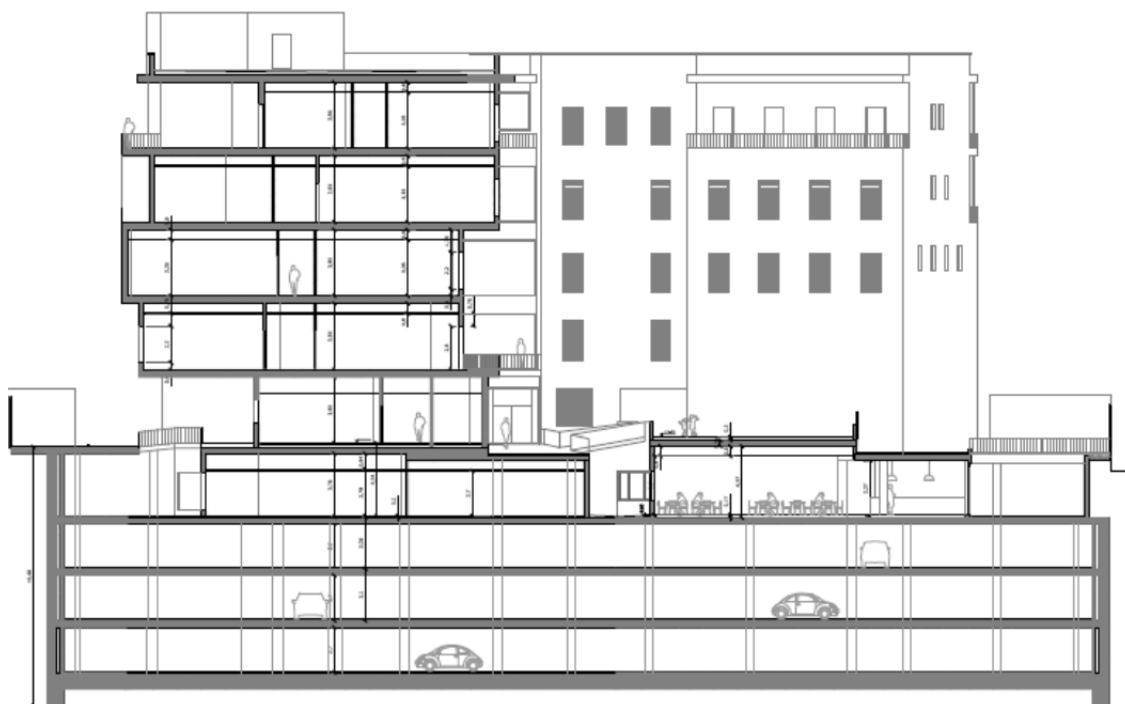
Posteriormente, se decide por parte de la Universidad de Sevilla la finalización del proyecto en dos fases, la primera relativa exclusivamente a la estructura y la segunda al resto del edificio. La fase de estructura conllevó la ejecución del vaciado del vaso subterráneo y la estructura tanto bajo rasante como por encima

de ella. La segunda fase, los trabajos de albañilería, cubiertas, instalaciones, revestimientos y urbanización.

La fase 1, denominada “1ª Fase de las obras de terminación de la Escuela Universitaria de Ciencias de la Salud” y cuyo importe de licitación fue de 4.300.004,00€, se adjudicó a la empresa INGECONSER por un importe de 2.611.4550,00€.



**Figura 5.12.-** Imagen del estado de la obra al iniciarse los trabajos



**Figura 5.13.-**Sección del proyecto de la Facultad de Ciencias de la Salud. (Universidad de Sevilla).



**Figura 5.14.-** Imágenes del estado actual de la edificación.

La fase 2, denominada “Obras de terminación de la Fase II del Reformado del Proyecto Básico y de Ejecución de las obras de la Escuela Universitaria de Ciencias de la Salud” y cuyo importe de licitación se valoró en 11.020.339,47€ se adjudicó igualmente a la empresa INGECONSER por un importe de 9.843.525,00€

### **5.3.- Circunstancias en la construcción del edificio colindante**

En las fechas previas a la aparición de la patología objeto del presente estudio, la obra se encuentra en fase de excavación y cimentación. Alcanzada la cota necesaria para la ejecución de la cimentación interior y que se proyectó mediante losa de cimentación, se comienza a realizar esta por el sistema de bataches en el lado más cercano a la calle Avicena y dejando en el lado opuesto, la calle Abulcasis, la rampa de acceso al fondo de la excavación. Esta rampa se realizó para permitir el acceso desde el encuentro entre las calles Avenzoar y Abulcasis. Llegado el momento necesario, se realizó la retirada de esta rampa de acceso mediante excavadora confiando la estabilidad de la misma a los anclajes realizados por la empresa que inició las obras.

En la madrugada del día 17 de junio de 2010, los vecinos residentes en los bloques de viviendas aledaños, alarmados por la aparición de grietas en las viviendas y visibles a simple vista, avisan a los Servicios de Extinción de Incendios y Salvamento del Ayto. de Sevilla. Los oficiales personados ordenan la evacuación inmediata de los edificios más próximos, estableciendo un cordón de seguridad alrededor de los edificios afectados y un corte de tráfico total en la calle Abulcasis.

En la mañana del mencionado día se personan en el lugar los responsables municipales y técnicos de urbanismo, el Vicerrector de Infraestructuras y técnicos de la Universidad de Sevilla, la dirección facultativa, los técnicos de la empresa constructora y demás agentes afectados. Como primera medida y dado que se observa un desplazamiento del lienzo del muro pantalla paralelo a la calle



Abulcasis, se decide desmontar urgentemente la grúa torre que se ubicaba en dicha calle puesto que presenta un desplome progresivo que amenaza con su colapso sobre el edificio colindante.



**Figura 5.15.-** Estado de la obra en el momento de los hechos. (ABC de Sevilla. Edición 2/9/10).

Se mantienen, tras la inspección preliminar de los bloques afectados, una serie de reuniones y visitas con los técnicos de Urbanismo a fin de determinar el ámbito de los daños y puntualizar las medidas a tomar para garantizar las condiciones de seguridad de la obra, levantándose después un acta en la que la Universidad de Sevilla se compromete a devolver las condiciones de seguridad necesarias a la obra en construcción y al edificio afectado. Para ello se decide:

- Desmontaje de la grúa torre.
- Realizar un vertido de bolos para acodalar el muro pantalla y evitar la progresión de su desplazamiento.
- Acometer un estudio geotécnico pormenorizado de la zona para conocer el estado de terreno y las medidas a acometer.
- Consolidar la estructura de los edificios afectados y devolver las condiciones de habitabilidad originales.
- Mantener el desalojo provisional de los bloques en el área de influencia.

La misma tarde del día 17 de junio a las 19.30 horas se vuelve a levantar acta para dejar constancia del desmontaje de la grúa torre, manteniendo el desalojo de los bloques TER 8, TAF 1, TAF 6 y Talgo 1, y levantando el desalojo provisional del resto de edificios en el área de influencia.



Dichas medidas se trasladan a decreto por resolución del Gerente de Urbanismo de fecha 18 de junio (Ayuntamiento de Sevilla, 2010), estableciendo así el marco normativo urbanístico en el que desarrollar la posterior actuación.

Conjuntamente a estas reuniones de carácter técnico se mantuvieron una serie de reuniones con los representantes vecinales, organizados en torno a la denominada “Asociación de Vecinos La Barqueta-Renfe”, a fin de tratar la crisis social generada por las circunstancias. Los vecinos, desalojados de madrugada, no disponen durante las primeras horas de los mínimos elementos necesarios ni pertenencias para su vida normal puesto que no se les permite el acceso a sus viviendas hasta los dictámenes técnicos preliminares. Estas reuniones entre el Ayto. de Sevilla, la Universidad y los representantes vecinales, desembocan como medidas inmediatas en el realojo de los vecinos en hoteles cercanos en los días posteriores y su manutención por parte de la Universidad de Sevilla en comedores universitarios.

Tras el vertido del talud de bolos para contener el desplazamiento del muro pantalla y contrastarse que la patología no continúa en desarrollo, se comienzan las labores técnicas de estudio del terreno y de análisis de las soluciones a adoptar. Puesto que la duración de las obras de reparación se estima en un año, la Universidad de Sevilla decide alquilar 40 viviendas en los alrededores para alojar a los vecinos afectados. De igual modo se decide trasladar los enseres de las viviendas a almacenes.

La construcción de la Escuela Universitaria de Ciencias de la Salud modifica aspectos organizativos y materiales a fin de adaptarse a las nuevas circunstancias mientras se estudian las posibles soluciones a adoptar. Por ello se decide continuar con la ejecución de la estructura por sistema de bataches, no ejecutando la zona donde se sitúa el talud de bolos.

Con fecha 1 de septiembre, paliadas las necesidades de vivienda de los propietarios afectados y concluidos los estudios técnicos previos, se hace pública la conclusión de que las viviendas afectadas son reparables, asumiendo la Universidad de Sevilla la reparación dado el interés social de la intervención y puesto que, no entrando en cuestiones de causalidad, el origen de las patologías se encuentra en la construcción de un edificio promovido por la propia Universidad. Se designa una dirección técnica para la ejecución de las obras adjudicándose los trabajos de reparación de la cimentación que se inician con fecha 19 de octubre de 2010.

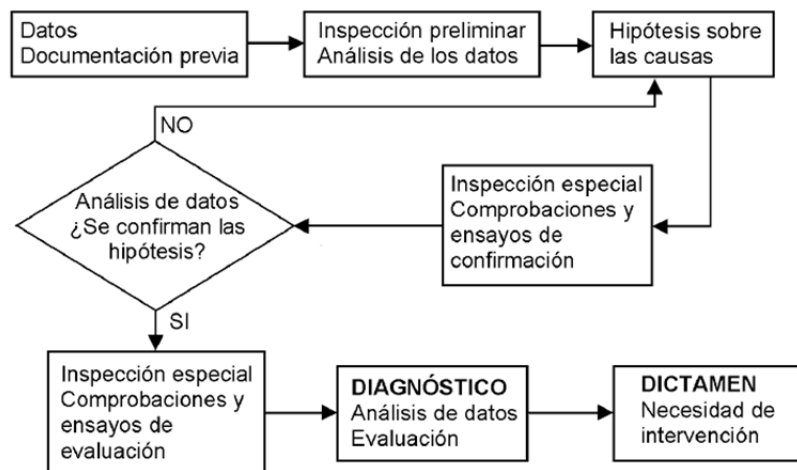
## 6. DIAGNÓSTICO DE DAÑOS

Se entiende la palabra “diagnóstico”, aplicada en el ámbito de la edificación y conforme a lo definido en la norma UNE 41805:2009 de Diagnóstico de edificios, como: *“El estudio previo a una intervención que consiste en la identificación de lesiones o daños y sus causas. La evaluación de la funcionalidad y seguridad de la unidad constructiva en estudio y de la posible evaluación de daños”*.

La intervención en cualquier edificación o construcción afectada de algún tipo de proceso patológico requiere como paso previo y necesario, la realización de un análisis de lesiones o daños con la finalidad de caracterizarlas y conocer tanto su magnitud como evolución temporal. La necesidad, si se quiere dar una respuesta correcta y proporcionada a una patología, de conocer tanto a nivel global como a nivel particular las características de los daños producidos, implica realizar todos los estudios y pruebas necesarias que permitan tomar decisiones de carácter técnico.

A pesar de que el objeto de estudio del presente trabajo son dos edificaciones independientes relacionadas entre ellas por un complejo proceso patológico, para la mejor comprensión y análisis de la situación se presentan los datos y se realizan los análisis de manera independiente, por un lado el muro pantalla de la Facultad de Ciencias de la Salud y por otro el edificio afectado de la denominada Barriada Renfe. La relación entre las lesiones de cada edificio se presentará en el establecimiento de las hipótesis causales del proceso patológico.

Se organiza el presente apartado conforme a la metodología expuesta en la antes citada norma UNE 41805:2009 a fin de establecer un marco formal y normativo en el diagnóstico de daños. Esta metodología responde al esquema en la Figura 6.1.



**Figura 6.1.-**Planteamiento general del estudio patológico (UNE 41805:2009).

Se entiende fuera del presente punto la denominada Documentación Previa puesto que los condicionantes históricos del edificio ya se han expuesto con anterioridad.

### 6.1.- Daños en el muro pantalla de CC de la Salud

Ocurrido el suceso, a partir del día 17 de junio se empiezan a tomar todas las medidas necesarias para tener un conocimiento exhaustivo de las lesiones presentes en el muro pantalla de la Facultad de Ciencias de la Salud. Esto se realiza tanto por los técnicos encargados de la dirección de la obra como por entidades de control y ensayo que recibe el encargo de realizar los análisis oportunos y recogerlos en informes.

#### Inspección preliminar

En la inspección preliminar, realizada el día 17, y limitada a la inspección visual del intradós del muro pantalla se pudieron observar las siguientes lesiones:

- Pérdida de la linealidad de la coronación del muro pantalla.
- Filtraciones de humedad en los anclajes del muro pantalla. Un aspecto a destacar y reflejado en un informe técnico es la presencia de un rumor de agua corriente en el trasdós del muro pantalla.
- Fisuras horizontales de orden milimétrico.
- En los codales situados en el extremo norte del paño se aprecian deformaciones en las soldaduras a las placas de anclaje y flecha en la longitud de los perfiles (Figura 6.2).

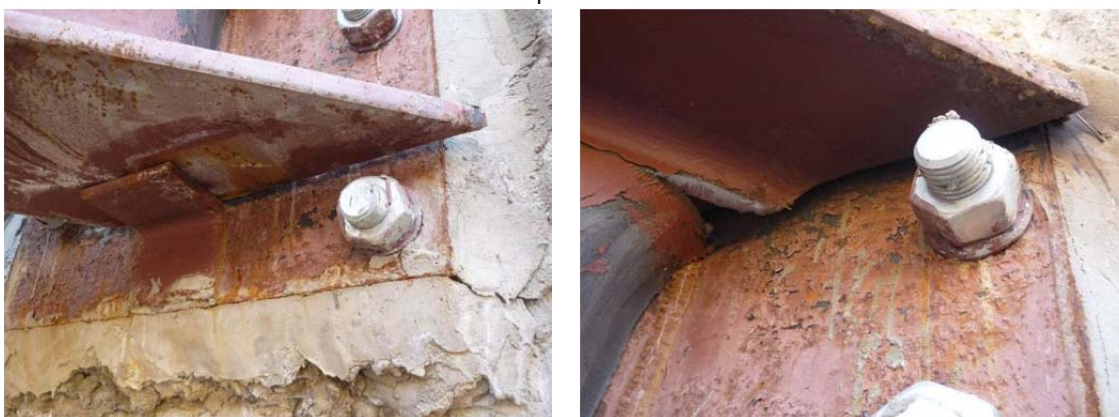
Cabe destacar el daño producido por el movimiento de la pantalla en los codales metálicos de la esquina noreste del vaso. El movimiento del muro pantalla daña la

soldadura de los perfiles en las placas de anclaje de la estructura perdiendo su efectividad y combando estos, lo cual requerirá un refuerzo (Figura 6.2 y 6.3).

En relación a la presencia de filtraciones el informe se limita a indicar su existencia y el dato de que se escucha un rumor de corriente tras el muro pantalla. Este indicio, junto con los antecedentes históricos expuestos en el punto a sección 5.1, da cuerpo a una hipótesis de la presencia de corrientes subterráneas en el terreno dado el curso de Río Guadalquivir hasta principios de la segunda mitad del S.XIX. Obviamente las características del terreno son marcadamente aluviales y se comprobará este extremo en el estudio geotécnico descrito posteriormente.



**Figura 6.2.-** Imágenes de los daños en acodamiento, obsérvese la curvatura y abolladura del alma del perfil.



**Figura 6.3.-** Imágenes de los daños en acodamiento, obsérvese el desplazamiento.

### Hipótesis inicial

Del análisis inicial de las lesiones observadas se pudo fácilmente concluir que se había producido un desplazamiento en el muro pantalla y con evidente riesgo para la estabilidad estructural, posiblemente relacionado con la retirada de la rampa de acceso y la inoperancia de los anclajes del muro pantalla. Ante la posibilidad de desarrollo de la lesión, se hizo necesario realizar un seguimiento del estado del muro pantalla.

### Inspecciones especiales de seguimiento de las lesiones

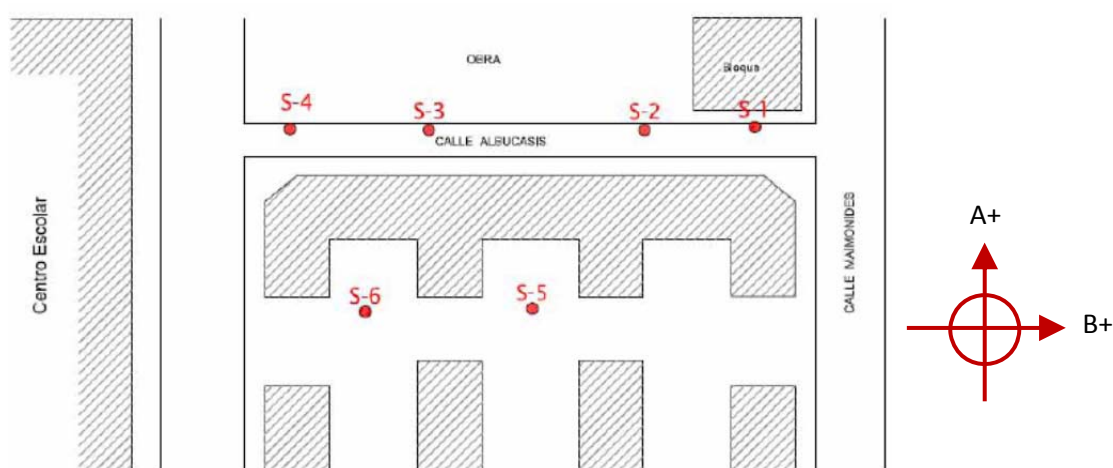
Se decide monitorizar el comportamiento del muro pantalla con las siguientes técnicas de auscultación:

- La instrumentación de las fisuras presentes en el intradós del muro pantalla.
- La colocación de dos inclinómetros en el exterior del muro, concretamente en la calle Abulcasis con la que linda.

La lectura de la instrumentación de las fisuras, a pesar de realizarse en sólo tres días dada la necesidad urgente de realizar el vertido de bolos en el intradós del muro pantalla para frenar el desarrollo de la patología, muestra el movimiento milimétrico.

Los dos sondeos que se eligieron para la instalación de los inclinómetros fueron los 2 y 3 al ser los que se situaban cerca de la zona más afectada y cuyos resultados se preveían los más relevantes para conocer la lesión (Figura 6.4.).

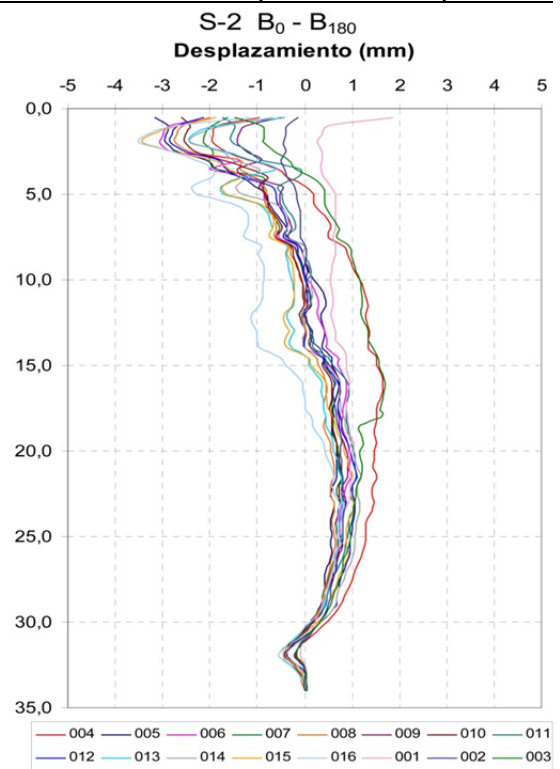
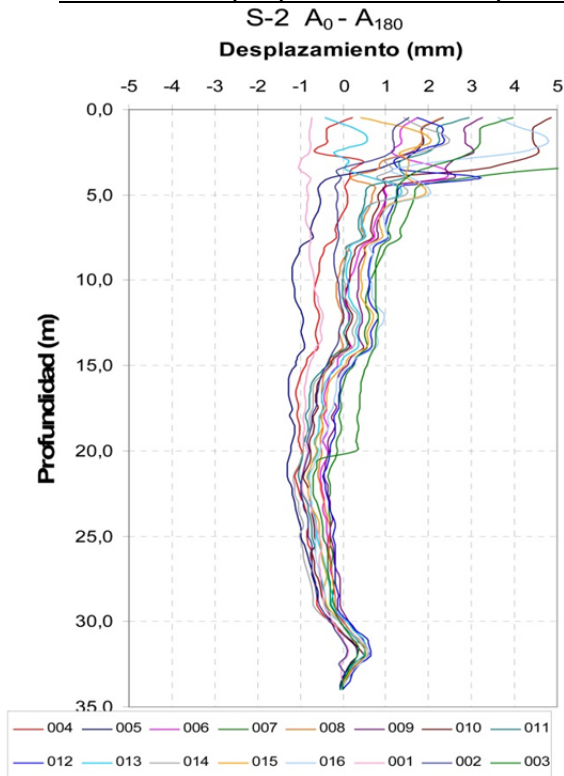
El seguimiento de la patología con inclinómetro es quizá el ensayo que muestra más aspectos relevantes acerca de los daños en el muro pantalla. La técnica consiste en introducir en dos sondeos, previamente realizados para el estudio geotécnico, dos guías flexibles de aluminio hasta los 35 metros de profundidad a través de la cual se desliza un sensor que mide el desplazamiento horizontal relativo y permite generar unas gráficas del desarrollo de la patología. Se realizan 16 lecturas entre los días 28 de junio y 26 de julio de 2010 (Figura 6.5) cuyos gráficos muestran el desplazamiento relativo del terreno en la calle Abulcasis en el eje transversal a la calle (A) y en el longitudinal (B).



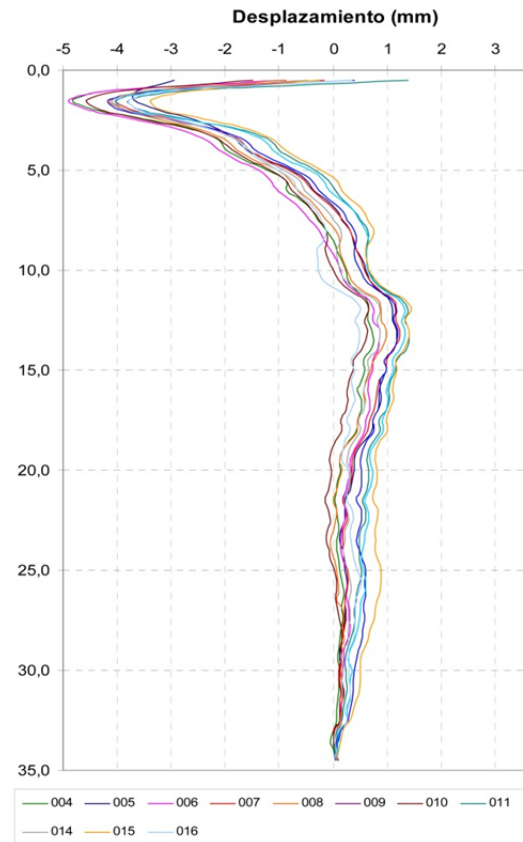
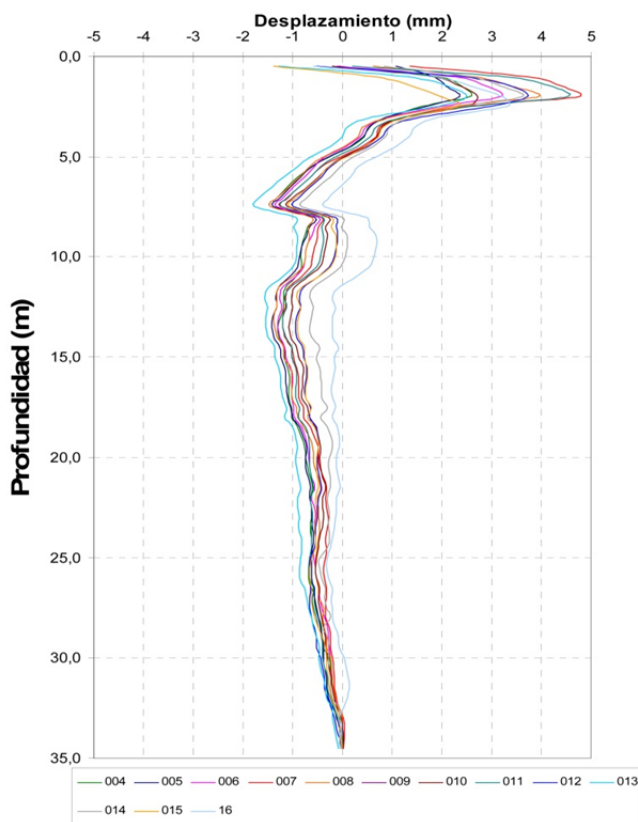
**Figura 6.4.-** Ubicación de los sondeos en el entorno. Los sondeos S3 y S2 servirán para la colocación de los inclinómetros.

Movimiento perpendicular a la pantalla

Movimiento paralelo a la pantalla



SONDEO 2



SONDEO 3

Figura 6.5.- Gráficos obtenidos de movimiento de los inclinómetros.. (Elabora. 2010 a).

## **Confirmación de la hipótesis**

De los datos que se extraen en la auscultación se constata la progresión del desplazamiento del muro pantalla y el riesgo para la estabilidad estructural del mismo. Los anclajes del muro no están funcionando dada la presencia de desplazamientos horizontales, con máximos de hasta 5mm incluso tras el vertido del talud de bolos el 30 de junio del 2010. En estas circunstancias se hizo necesario seguir realizando una serie de ensayos y estudios del terreno a fin de conocer pormenorizadamente las características de este.

### **6.2.- Características geotécnicas del terreno**

Para la toma de decisiones en las circunstancias descritas y dado que la patología se relacionaba indudablemente con las características del terreno, se decidió la realización de un estudio geotécnico pormenorizado en la zona más afectada el terreno adyacente al muro pantalla desplazado y el entorno de la edificación colindante afectada.

El hecho de que en las primeras inspecciones tras el incidente los técnicos detectasen ruidos de escorrentías tras el muro pantalla, apuntaba a pensar en la posible existencia de corrientes subterráneas y oquedades. Por ello, además de la inspección geotécnica y del ensayo en laboratorio de las muestras del terreno extraídas por los sondeos (Véase Figura. 6.4 con la ubicación de los mismos), se decide realizar una prospección geofísica del terreno por medio de una tomografía eléctrica. Con la aplicación de esta técnica, tan inusual en la edificación, se pretendía esclarecer la posible presencia de oquedades en el terreno o de discontinuidades en el mismo que pudieran ser origen del fallo de funcionamiento de los anclajes del muro pantalla.

Tras el incidente la campaña de trabajos (Elabora. 2010 a), a la vista de las necesidades de contar con un conocimiento pormenorizado de las características del terreno, consistieron en:

- 6 sondeos con extracción de testigos hasta una profundidad media de 33 metros
- 6 ensayos presiométricos
- 45 ensayos (SPT) de penetración estándar en sondeos
- 3 tubos piezométricos para el control del nivel freático
- 1 ensayo de muestra de agua
- Ensayo en laboratorio de 33 muestras inalteradas y 3 testigos parafinados:
  - granulometría.
  - límites de Atterberg.
  - peso específico.
  - humedad natural.

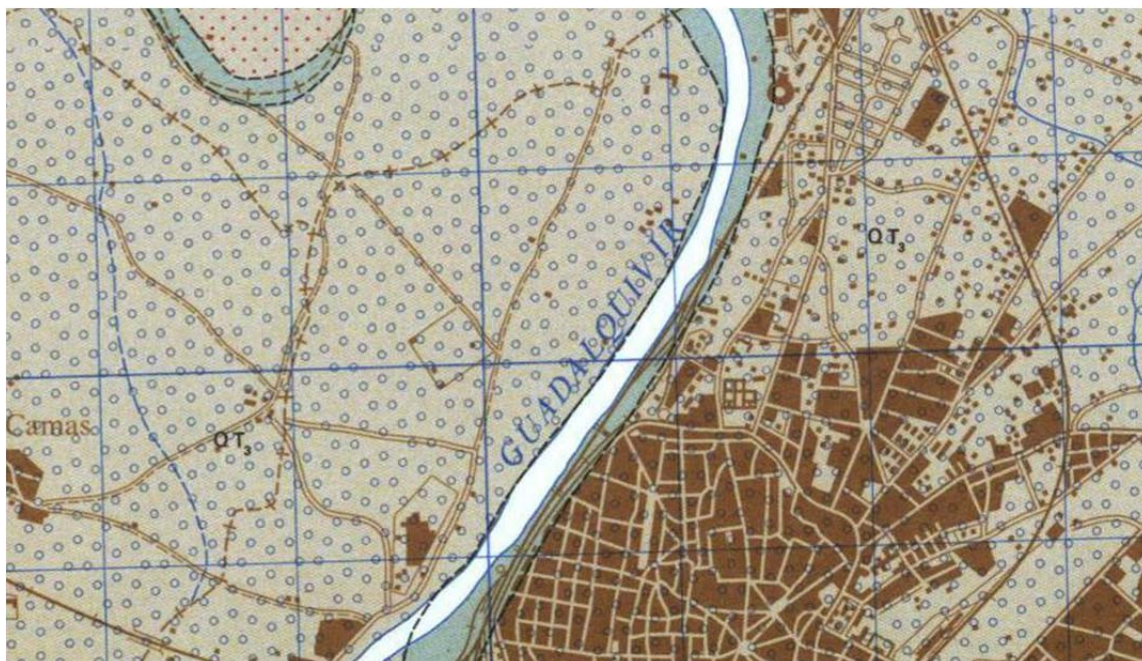


- compresión simple.
- corte directo.
- compresión triaxial.
- consolidación en edómetro.
- agresividad del agua.
- Continuación del control de los inclinómetros instalados previamente

Estos ensayos, a la vez que la realización de la tomografía eléctrica permitieron obtener un conocimiento muy amplio de las características del terreno más allá de los datos que se manejaban en ese momento.

### Geología del terreno

La zona en la que se sitúa el objeto de la presente tesis se enmarca dentro de las llanuras aluviales del Valle del Guadalquivir (Figura 6.6), concretamente en el primer meandro natural del cauce del río a lo largo de la ciudad. Se define la zona en el Mapa Geológico de España 1:50.000 (Serie Magna) como tipo QT3, es decir, compuesta por cantos rodados, arenas y arcillas (Ministerio de Economía y Competitividad. 2014).



**Figura 6.6.-**Detalle del plano Mapa Geológico de España 1:50.000 (Serie Magna). Hoja: 984. (Ministerio de Economía y Competitividad. 2014)

Cabe destacar en dicho mapa que las márgenes del río se caracterizan por ser del tipo QAI, limos, arenas y arcillas de origen cuaternario. Una característica es la asimetría que presentan los márgenes del río. Debido a la sedimentación por aporte aluvial del cauce natural del río y las erosiones propias de las formaciones de meandros. La ribera este, sobre la que se situaban las vías del tren y actual



parcela de las Viviendas Renfe presenta una anchura inexistente en la ribera oeste (Figura 6.6). Este punto refuerza la teoría previamente expuesta en la sección 5.1 acerca del cegado de caños, alfanques en el río y su aprovechamiento ferroviario. Bajo la capas de limos, arenas y arcillas, se encuentran las características arcillas grises y comúnmente denominadas margas azules, de origen micénico.

Gracias a los seis sondeos realizados se pudo establecer una litología concreta de la zona de estudio, identificando los distintos estratos de la zona los distintos sondeos mostraron los siguientes niveles en el terreno, desde el superior al inferior:

- relleno antrópico
- aluvial fino arcillo-limoso
- aluvial fino areno-limoso
- aluvial de gravas
- arcillas grises

Para una mejor comprensión de los datos se propone la presentación de los mismos siguiendo la línea que une los puntos de sondeo de manera que se formen dos planos imaginarios, uno formado por los sondeos 1,2,3,4 (Figura 6.7), que permitan una comprensión espacial de los datos aportados por el estudio geotécnico.

A continuación se describen las características de los estratos:

Rellenos antrópicos:

Rellenos antrópicos de características varias y debidos a la acción del hombre a lo largo de los años en la zona. La zona, como se ha mencionado previamente, históricamente se ha caracterizado por la presencia de actividades asociadas a los ferrocarriles y este nivel se compone de una mezcla heterogénea de arcillas, limos, arenas y gravas con presencia de restos cerámicos.

Aluvial fino arcillo-limoso:

Se compone de arcillas de características similares geológicamente hablando, si bien se muestran heterogeneidades y veteados de distinta coloración, debidos a los procesos de sedimentaciones aluviales de diversos materiales. Se encontraron intercalaciones arenosas y limosas.

Aluvial fino areno-limoso:

De características similares al superior pero con un mayor contenido de arenas y arenas limosas grises con presencias esporádicas de gravas. Se apreciaron algunos veteados negros.

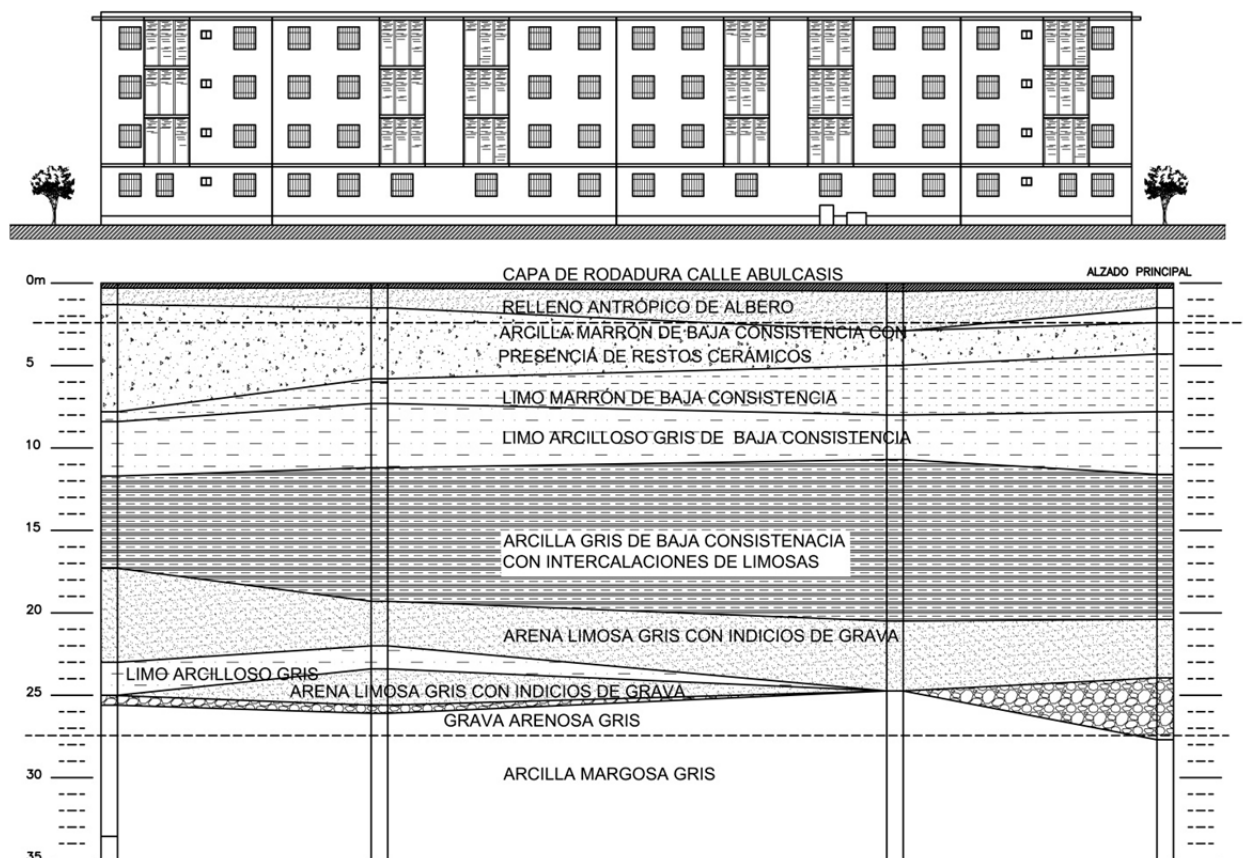


Figura 6.7.- Estratificación del terreno según los sondeos realizados.

#### Aluvial de gravas:

De los niveles identificados este es fue el que presenta una irregularidad mayor, de escasa potencia en todos los sondeos (de menos de un metro), en el sondeo número 4 presentó un espesor de 3.75 metros. Se compone de gravas de arenosas de origen silíceo y en forma redondeada.

#### Arcillas grises:

Comúnmente denominadas en la zona como “margas azules”, se compone de arcillas margosas de grises a azuladas de elevada compacidad y de origen miocénico. Con la presencia ocasional de bioclastos marinos. Comúnmente se ha considerado el estrato válido en la ejecución de construcciones con elevada tensiones de apoyo.

#### **Nivel freático**

En cualquier estudio geotécnico de la zona es muy importante tener en cuenta la posición y variabilidad estacional del nivel freático. Dadas las características aluviales del terreno y la influencia del río en la zona, es necesario hacer referencia a la presencia de agua freática pues la misma influye directamente en las características físicas del terreno.

Durante el proceso de investigación geotécnica, se aprovecharon los sondeos 1, 4 y 5 para realizar la medición de la altura del nivel freático. Estas medidas se tomaron en 11 ocasiones entre los días 22 de junio y 29 de julio de 2010, (Tabla 6.1).

Sondeo	Prof. Media Nivel Freático	Máximo	Mínimo
S1	7.59 m	7.85 m	7.30 m
S4	4.97 m	5.45 m	4.60 m
S5	7.49 m	7.75 m	6.20 m

**Tabla 6.1.-** Nivel de la capa freática.

La estabilidad de los datos tomados, se debe a la escasa amplitud temporal en la toma de datos y que se realizaron en época estival sin precipitaciones atmosféricas susceptibles de interferir en la variabilidad de estos.

En el sondeo S4 la profundidad media es claramente inferior a las tomadas en los otros dos sondeos, posiblemente debida a la irregularidad en los estratos de los que se compone el terreno.

En cualquier caso, el nivel de agua en época seca se muestra por encima de la cota máxima de excavación del edificio proyectado, con las necesidades y condicionantes técnicos que ello conlleva a la hora de planificar la ejecución de una estructura bajo rasante.

### **Características químicas del agua**

Para el conocimiento de la composición química del agua presente en el subsuelo, se tomaron muestras de un pozo artesiano situado en la Barriada Renfe, y se analizaron en laboratorio, ver Tabla 6.2.

Concentración	(mg/l)
Magnesio	4,90
Amonio	0,30
Sulfatos	244,60
CO <sub>2</sub>	0,00
Residuo Seco	1,12

**Tabla 6.2.-** Composición del agua freática. pH= 8,75

Así mismo, se determinó la agresividad del agua según el art. 8.2 de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE, definiendo un grado de agresividad débil, siendo su clase específica de exposición para el hormigón Qa.

Las características de este tipo de agua se relacionan con su origen fluvial y dada la ausencia de factores externos, como vertidos o materiales, que pudiesen condicionar los contenidos minerales.

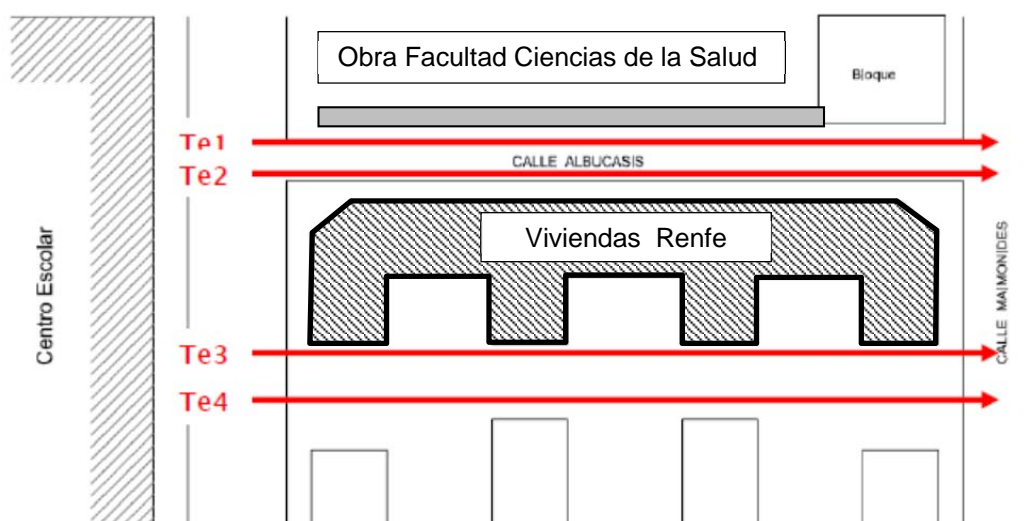
### 6.3.-Reconocimiento geofísico

Tras la finalización de los ensayos necesarios para la determinación de las características geotécnicas del terreno y puesto que existían indicios, la presencia de agua y el sonido de escorrentías en el trasdós del muro pantalla, se consideró necesaria la realización de un reconocimiento geofísico del terreno.

Esta técnica, propia de la ingeniería del terreno en obra civil, es raramente aplicada en el ámbito de la edificación, si bien la necesidad de conocer en profundidad las características del terreno y los indicios de la posible existencia de oquedades en el terreno, recomendaron la aplicación.

La técnica se basa en la interpretación de los datos que muestran la representación gráfica de perfiles del terreno obtenidos por medio del método de elementos finitos y su gestión mediante un software específico para la obtención de dichos gráficos que muestran un corte vertical de terreno en la longitud sometida a reconocimiento. La obtención de los datos proviene de la caracterización de la resistividad eléctrica del terreno, teniendo en cuenta que a mayor presencia de porosidad mayor resistividad eléctrica. Esto permite obtener un perfil del terreno que mediante variación de colores permite representar de modo congruente el estado del terreno (Elabora 2010 a).

Para que el reconocimiento del terreno fuese lo más provechoso posible, se decidió realizar cuatro secciones longitudinales al muro de pantalla desplazado dispuestas en paralelo y a ambos lados de la edificación afectada. Cada plano de sección de reconocimiento fue de 100 metros de longitud por 16 metros de profundidad y la disposición paralela entre ellas permitió no sólo el reconocimiento del terreno si no comprobar también la variación del mismo transversalmente a la pantalla.



**Figura 6.9.-** Situación de las tomografías eléctricas Te 1,2, 3 y 4 en el entorno de la obra. (ELABORA. 2010 a)

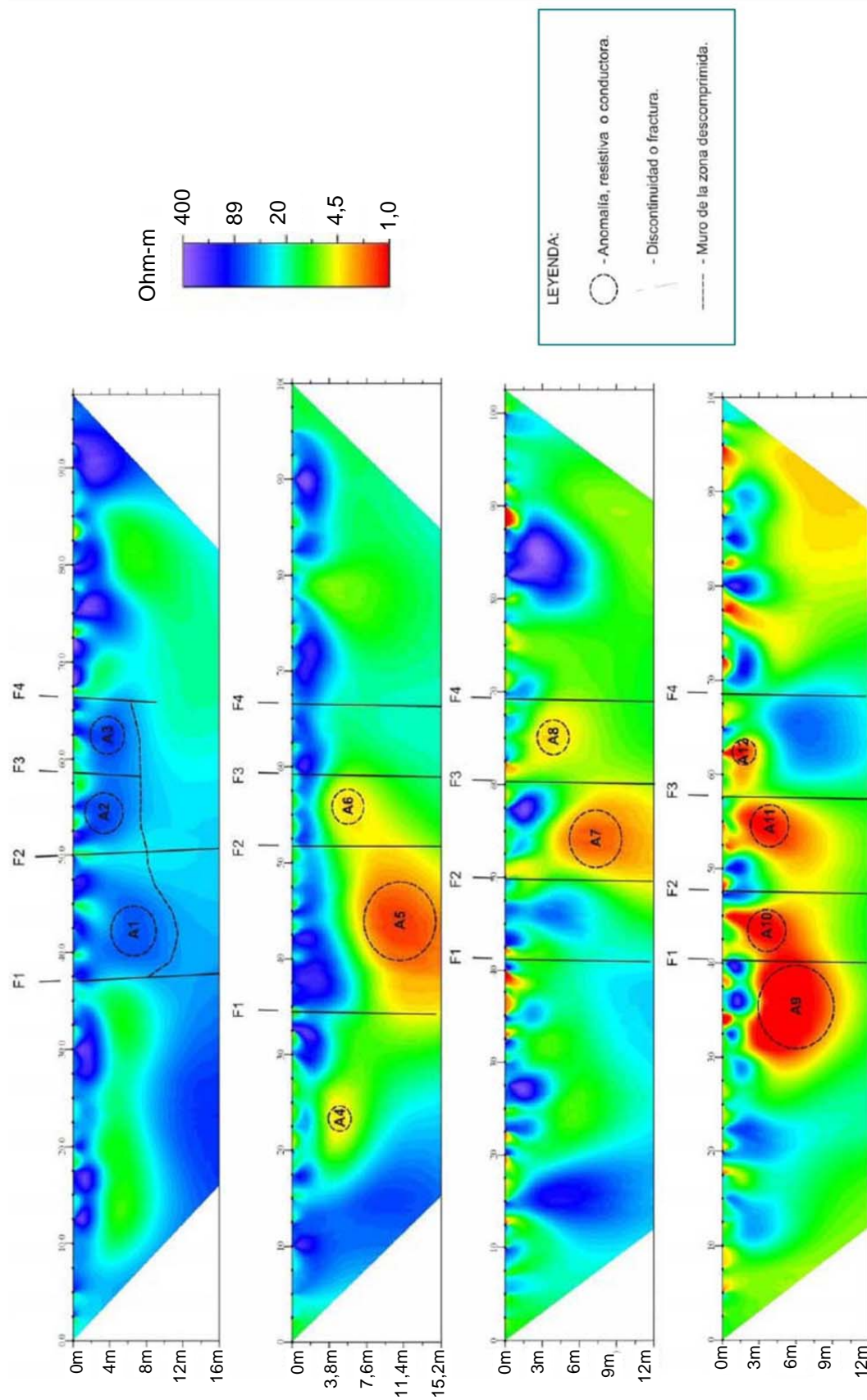


Figura 6.10.- Resultados obtenidos de la tomografía eléctrica. (ELABORA. 2010 a)

De los resultados mostrados se dedujo la presencia de varias anomalías eléctricas en el terreno. Producidas principalmente por la descompresión del terreno y la presencia de oquedades en las proximidades del muro pantalla, estas se muestran en colores azules intensos que representan una elevada resistividad, y en cambio, la presencia de zonas con elevada conductividad representadas por colores rojos y amarillos indica la presencia de zonas de sedimentos muy incompetentes y saturados de agua como arcillas arenosas (Figura 6.10).

## **DIAGNÓSTICO Y CONCLUSIÓN DE LAS LESIONES PRESENTES EN EL MURO PANTALLA**

A tenor de toda la documentación y de la evaluación de los daños que presentaba el muro pantalla, así como de los estudios complementarios del terreno, se pudo concluir que las condiciones de estabilidad del muro pantalla no estaban garantizadas.

El movimiento del muro pantalla, sólo estabilizado tras el vertido de bolos, conjugado con las deficientes características del terreno, mostradas por los sondeos y el reconocimiento, fácilmente permitieron diagnosticar el fallo de los elementos provisionales de anclaje. El hecho de no haber sido capaces de soportar las sollicitaciones provisionales durante el proceso de ejecución de la obra debían resistir.

### **6.4.- Diagnóstico de daños en el edificio de 40 viviendas**

#### **Inspección preliminar**

Siguiendo el mismo esquema que establece la norma UNE 41805:2009 para el diagnóstico de daños, el día 17 de junio de 2010 se comienzan a realizar los estudios con una primera inspección ocular del edificio. Se realiza conjuntamente por los técnicos de la Universidad y los técnicos de la Gerencia de Urbanismo de Sevilla y concluye, en el mismo día de los hechos y tras el desmontaje de la grúa torre afectada, que los daños alcanzan exclusivamente al edificio de 40 viviendas de la Bda. Renfe por lo que se permitió el realojo del resto de inmuebles por los servicios de emergencias.

Es muy significativo para la investigación que se levantase el desalojo en el resto de edificios del entorno, principalmente del resto de bloques que conforman la Barriada. Esto respondió, y así se recoge en el decreto de Urbanismo, a la ausencia de daños con riesgo para la integridad estructural de los edificios.

#### **Hipótesis inicial**

En este caso, la relación causa-efecto quedó patente desde el mismo momento del incidente, el movimiento del muro pantalla produjo una descompresión y desplazamiento del terreno de apoyo de la cimentación del edificio de viviendas.

El cambio brusco de las condiciones de terreno produjo un asiento diferencial en su cimentación de zapatas continuas. Las características constructivas de dicho edificio, caracterizado por tener una estructura vertical de muros de fábrica de ladrillo y escasa rigidez, conllevó la aparición de múltiples fracturas claramente visibles y su desarrollo en tanto no se estabilizó el movimiento del muro pantalla.

### **Confirmación de la hipótesis**

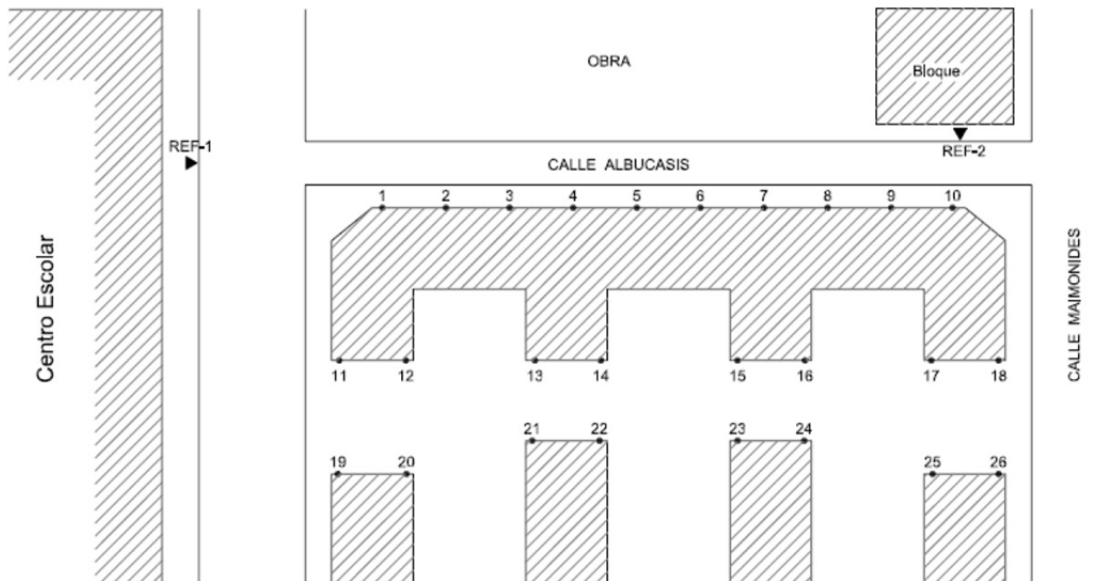
Las circunstancias, tan claramente asociadas a los efectos producidos en la edificación, permitieron confirmar la hipótesis inicial de manera inmediata, por lo que se procedió a considerar desde un principio las posibles medidas técnicas a adoptar para la intervención, que pasaba por el recalce de la cimentación.

Tras comprobarse que se cumplían una serie de condiciones mínimas de seguridad, se procedió a realizar una serie de estudios de carácter complementario, tanto a fin de valorar temporalmente el desarrollo de las lesiones, como de documentar y caracterizar constructivamente el edificio afectado.

#### **6.4.1.- Caracterización y seguimiento inicial de las lesiones**

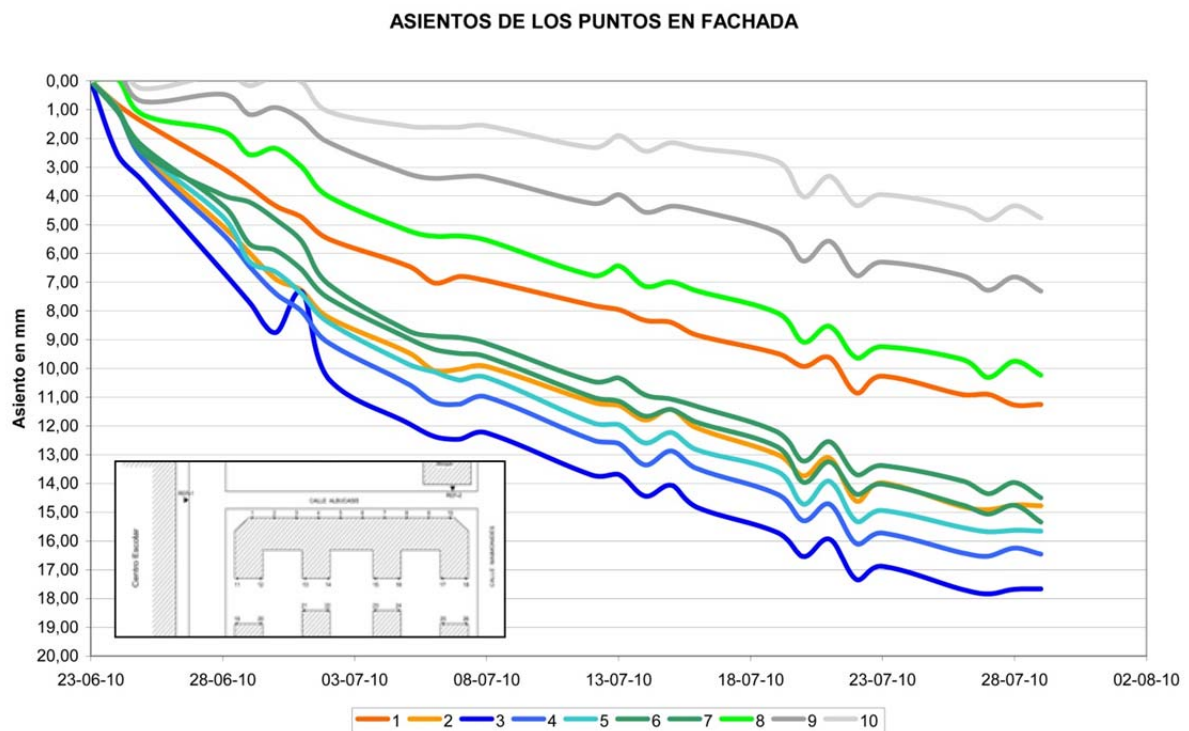
Un diagnóstico patológico adecuado debe contemplar el estudio temporal del desarrollo de las lesiones. Si bien en el caso que nos ocupa ya estaba clara la relación causa-efecto, el desarrollo de las lesiones estaba en relación directa con los posibles movimientos del muro pantalla, la instrumentación y monitorización del edificio permitió comprobar la efectividad de las medidas de seguridad adoptadas en el muro pantalla.

La instrumentación consistió en la colocación de 26 puntos en las fachadas (10 en la fachada de la calle Abulcasis, 8 en la fachada interior y otros 8 en la fachada de los edificios colindantes) y el establecimiento de dos bases de referencia fuera del ámbito de riesgo (Figura 6.11). El control se llevó a cabo por medio de niveles digitales con una periodicidad diaria desde el 23 de junio hasta el 29 de julio de 2010.



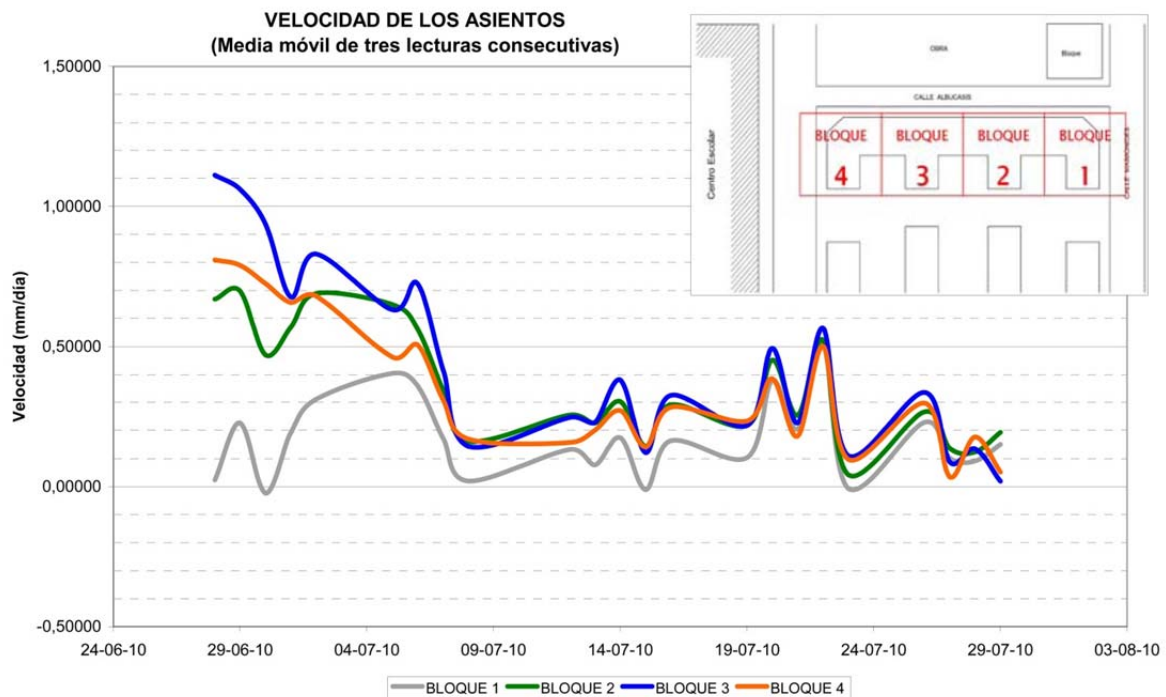
**Figura 6.11.-** Ubicación de los puntos de instrumentación de fachadas. (ELABORA. 2010 a).

En relación a los datos obtenidos de la fachada principal, las gráficas obtenidas evidenciaron el desarrollo de las lesiones durante los días posteriores al inicio de la toma de lecturas, si bien, tanto en la gráfica de asientos (Figura 6.12) como en la de velocidad media de asientos (Figura 6.13), las lesiones tendían a la estabilización, evidenciando la efectividad de las medidas tomadas en el muro pantalla.



**Figura 6.12.-** Gráfica de asientos en fachada. (ELABORA. 2010 a).





**Figura 6.13.-** Gráfico de velocidad de los asientos. (ELABORA. 2010 a).

En los gráficos destacan dos aspectos importantes, uno es que el asiento de la fachada es progresivo hasta el día de la última medición realizada para este informe que sucedió el 29 de julio de 2010 en el que toma un valor por encima de los 17mm en el punto 3 de la medición y que coincide con la zona donde la patología es más acusada. El segundo aspecto relevante en la gráfica de velocidad de asientos (Figura 6.13) es una progresiva tendencia hacia la estabilización, donde la última medición oscila entre 0 y 0,2 mm/día.

Los datos corroboran la necesidad del recalce al encontrarse en un rango de velocidad media mensual cercana al 0.5mm/mes, teniendo en cuenta las recomendaciones de intervención en edificios en función de la velocidad de los asientos o movimientos según se refleja en la Tabla 6.3 (Rodríguez. J.M 2007).

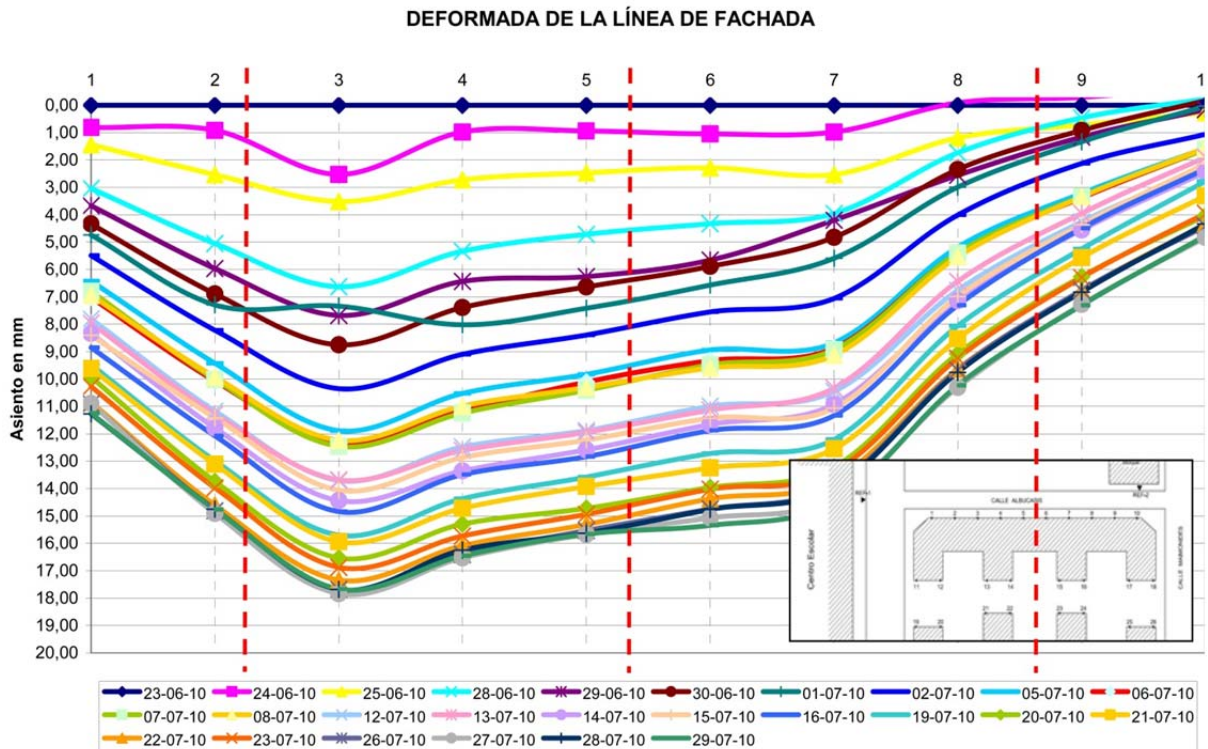
Velocidad de asientos-movimientos	Necesidad de intervención
Nula	Reparaciones estructurales y acabados
1mm/año	Posible estabilización. Revisión de servicios y entorno. Plantear recalce según estado del edificio
1mm/mes	Plantear recalce
1mm/día	Apeo y descarga. No aconsejable recalce.

**Tabla 6.3.-** Relación entre velocidad de asiente y necesidad de intervención (Rodríguez. J.M 2007)

Hay que tener en cuenta que la velocidad de los asientos, sin dejar de lado otros valores relevantes, es el parámetro que marca la peligrosidad del estado de la

lesión, la disminución de la velocidad media de los asientos indica la disminución de las solicitaciones.

Otro dato tenido en cuenta fue la deformada de la fachada (Figura 6.14), en esta gráfica se refleja el desarrollo por asiento de los puntos fijos de la línea de fachada en relación a las bases de referencia.



**Figura 6.14.-** Deformada de la línea de fachada a c/Abulcasis. (ELABORA. 2010 a)

La disminución entre las lecturas obviamente está en consonancia con los datos de asentamientos de la gráfica previa, si bien, en esta se muestra claramente que la parte más afectada de la fachada es la que se encuentra en el ámbito de los puntos 3, 4 y 5, correspondientes con el bloque TAF 1. Estos asentamientos se reflejaron en la fachada del edificio en forma de arcos parabólicos de descarga que afectaron a los tres muros de carga del edificio (Figura 6.15), siendo más afectado el de fachada a calle Abulcasis, disminuyendo en gravedad en el muro interior y en la fachada opuesta. Así mismo, la gravedad de las grietas disminuye con la altura del edificio.

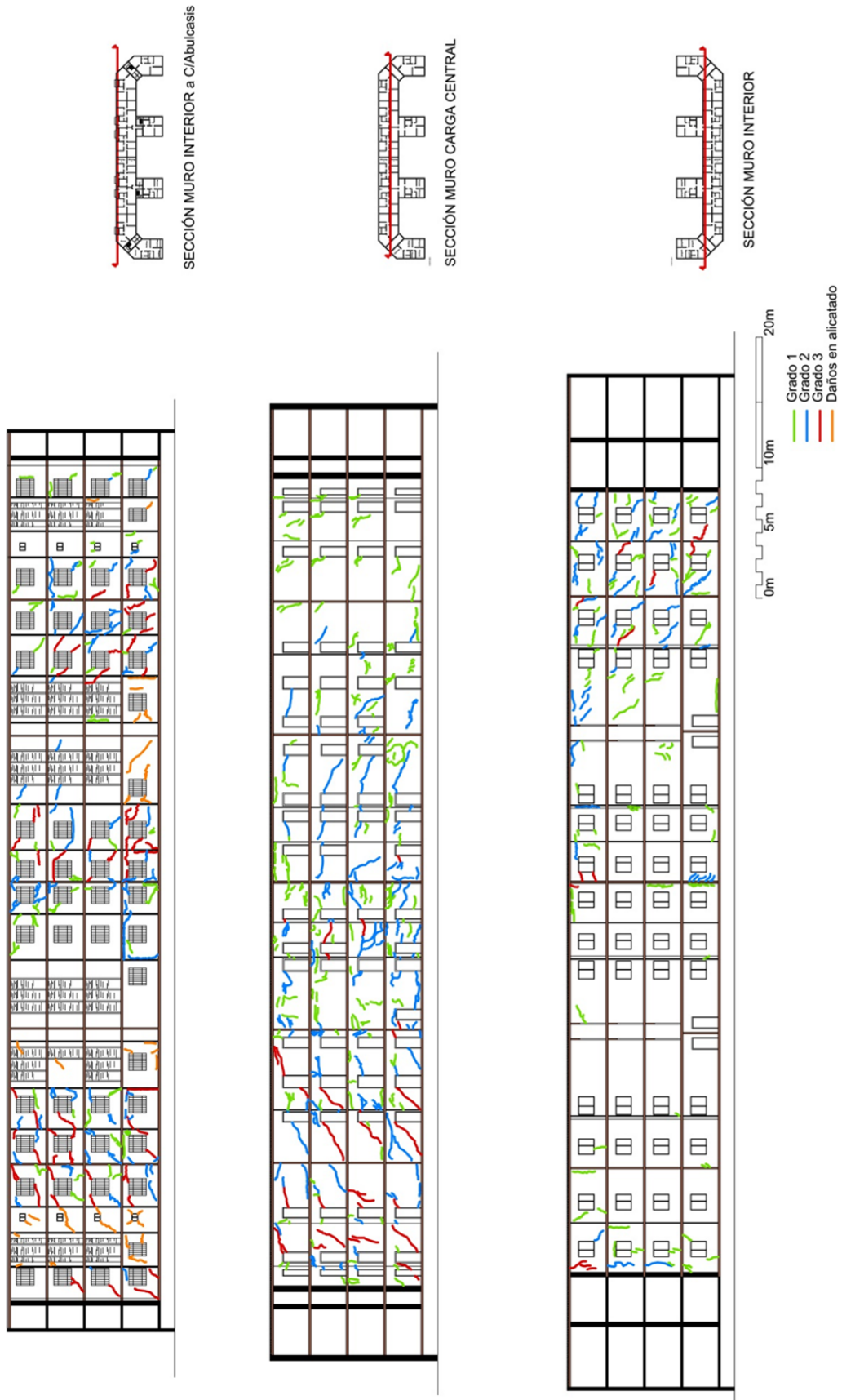
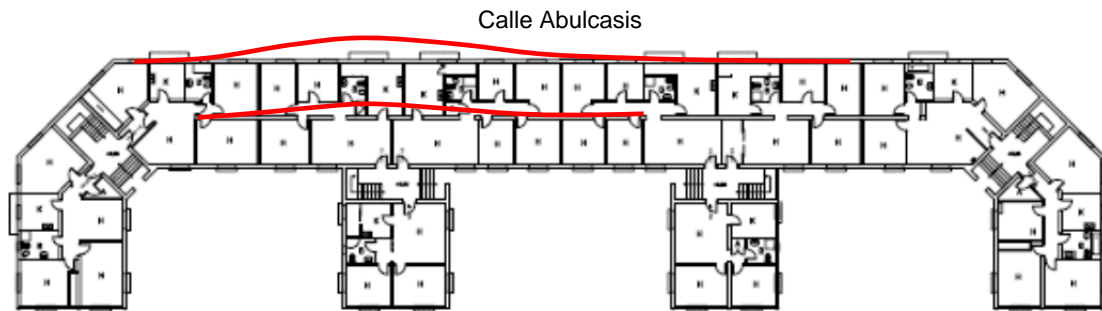


Figura 6.15.- Distribución de las grietas y fisuras en el edificio.

Conjuntamente al movimiento vertical de la cimentación, se produjo un desplazamiento horizontal. Este comportamiento de movimientos combinados es común dado que el movimiento del muro pantalla lleva aparejado tanto la descompresión del terreno como el desplazamiento en el sentido del movimiento. Este comportamiento conllevó la pérdida de linealidad de la fachada, creándose una deformada con un máximo desplazamiento en el Bloque TAF1.



**Figura 6.16.-** Esquema de la deformada de los muros de carga



**Figura 6.17.-** Imagen del muro central fracturado y desplazado en dirección a la calle Abulcasis, obsérvese el desplazamiento en el alcatado respecto de la posición original y la rotura del falso techo.

El movimiento del terreno produjo no sólo grietas y fisuras en los muros estructurales de fachada e intermedio. La tabiquería interior también se vio afectada en su gran mayoría. Si bien en los muros, dada la disposición paralela con la pantalla la rotura se produjo en arco de descarga, estas tabiquerías situadas de manera transversal sufrieron grietas y fisuras de carácter oblicuo, producidas por la tracción resultante del desplazamiento de la cimentación. Se muestran a continuación algunas imágenes del estado posterior al accidente (Figura 6.18 y 6.19).





**Figura 6.18.-** Estado de la tabiquería interior.



**Figura 6.19.-** Detalles del estado interior de las viviendas.

La afección del edificio no se limitó exclusivamente a los elementos estructurales verticales o tabiquerías, el desplazamiento y la aparición de grietas produjo daños en instalaciones, descuadres en carpinterías interiores y exteriores, revestimientos en general tanto en dependencias como en baños y cocinas.

La magnitud de la patología implicó que los daños fuesen generalizados en el edificio, si bien, en función de la ubicación dentro del edificio, las lesiones en las viviendas variaban desde escasas fisuras hasta grietas de gran magnitud, descuadres de carpinterías, daños en revestimientos e instalaciones inoperativas.

### **Diagnóstico y conclusión de las lesiones presentes en el edificio de 40 viviendas.**

Como se mencionó al inicio de este apartado, la clara relación causa-efecto señaló inequívocamente la causa origen de la patología presente en el edificio. El desplazamiento del muro pantalla produjo un cambio en las condiciones del terreno, cuyas solicitaciones no pudieron ser absorbidas por la cimentación del edificio. El asiento diferencial, dada su escasa rigidez y monolitismo propios de su

sistema constructivo, conllevó la distorsión angular de sus elementos y daños a la totalidad del edificio en diferentes magnitudes.

Las medidas adoptadas en el muro pantalla para su consolidación afectaron positivamente al edificio, frenando la progresión de los daños y dando una margen mínimo para la caracterización del edificio y de sus lesiones.

El estado que presentaba el edificio tras su diagnóstico y sus daños estructurales, no garantizaban las condiciones de seguridad del mismo. Por lo que, se hacía necesario intervenir en la edificación con carácter de urgencia.

## 6.5.- Diagnóstico de daños en la urbanización.

### Inspección preliminar

La principal urbanización afectada fue la calle Abulcasis, situada entre la obra de la nueva Facultad de Ciencias de la Salud y el edificio de 40 viviendas de la Bda. Renfe, sufrió directamente la descompresión y desplazamiento del terreno tras el movimiento del muro pantalla. Dicho desplazamiento tuvo tanto la componente vertical como horizontal paropias de este tipo de patologías.



Figura 6.20.-. Calle Abulcasis acerao derecha.



Figura 6.21.-.Calle Abulcasis acerao izquierda

Se observaron grietas en el pavimento y la pérdida de linealidad en bordillos (Figura 6.20 y 6.21). La intervención de la Gerencia de Urbanismo en el momento origen del accidente produjo que se decretara a las empresas de abastecimiento (Endesa, Emasesa, Gas Natural) el corte de las instalaciones en el entorno de la calle y el edificio afectado.

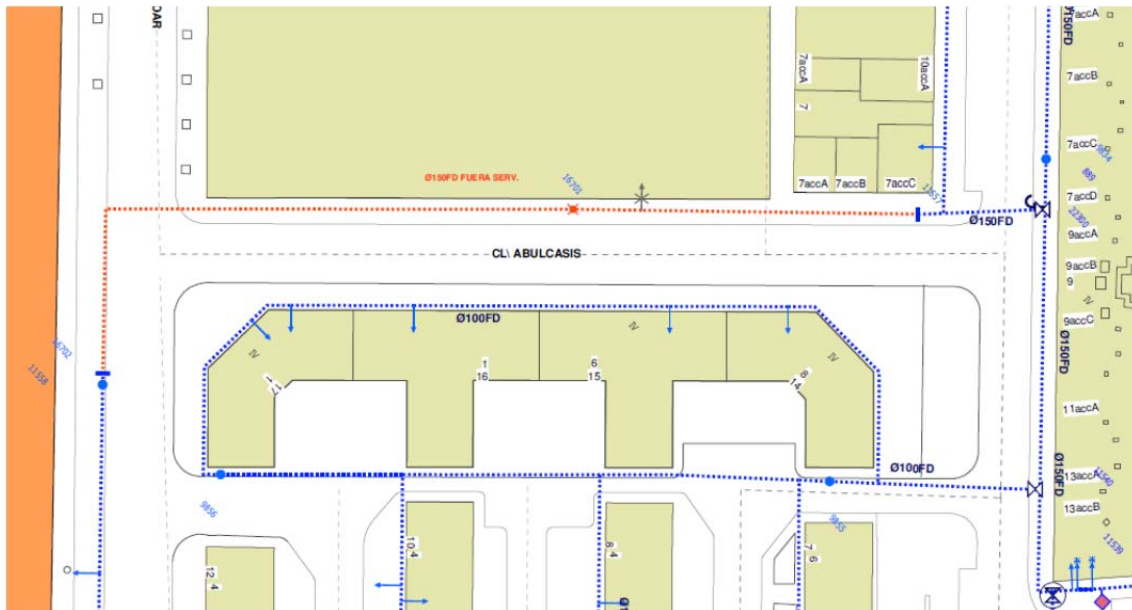


Figura 6.22.- Red de abastecimiento de la zona. (EMASESA 2010)

La red de abastecimiento de agua que discurría por el lado de la calle en el que se encuentra la obra no estaba en servicio en el momento del accidente, tal y como se refleja en el plano anterior. Puesto que no se produjeron fugas evidentes del abastecimiento (Figura 6.22), la actuación sobre las redes públicas se limitó a su corte, no realizándose la inspección de las mismas hasta el momento en el que se empezaron las obras. Es evidente que la red de alcantarillado (Figura 6.23), realizada con tubería de hormigón en masa, sufrió el mismo desplazamiento que el terreno por el que discurría.

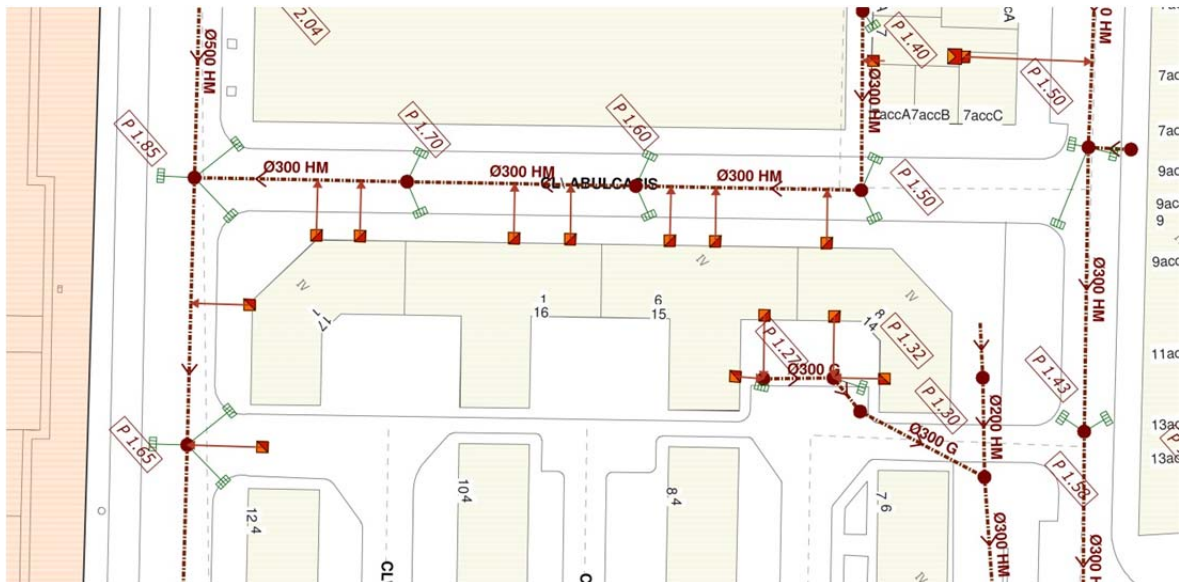


Figura 6.23.- Red de alcantarillado de la zona. (EMASESA 2010)

### **Confirmación de la hipótesis**

Como en el caso anterior, se confirmó la relación causa-efecto en el origen de la patología. Si bien, dada la ausencia de peligros intrínsecos en la urbanización no se consideró urgente la reparación de la misma, centrando los esfuerzos y recursos iniciales en la valoración y estudio del edificio afectado y el muro pantalla.

Evidentemente dañado el alcantarillado, como se ha mencionado previamente dado el desplazamiento de terreno, y no habiendo salideros evidentes en la red de abastecimiento, se decidió posponer a la ejecución de las obras la inspección y posterior reparación de las mismas.



## **7.- INTERVENCIÓN EN EL EDIFICIO**

Concluida la fase de estudio del terreno y la caracterización de los daños del edificio, se hace necesaria la toma de decisiones orientadas a devolver la integridad estructural al edificio. A su vez, se considera favorable para el desarrollo y la comprensión de la investigación, la subdivisión de la intervención en grandes fases, el recalce de la cimentación, la reparación de la estructura vertical del edificio y posteriormente el resto de las reparaciones en el edificio y su urbanización. Esta división responde a fases y trabajos previos en obras de estas características en las que es necesario estabilizar el apoyo del edificio para posteriormente realizar las reparaciones estructurales sobre una cimentación estable y capaz.

Los cambios en el terreno circundante a cualquier edificación y la tipología estructural suelen ser los factores condicionantes de los daños en las cimentaciones. Cimentaciones y estructuras monolíticas, como las losas y los pórticos de hormigón armado, son capaces de absorber y minimizar los daños producidos por cambios en las condiciones del terreno. Aunque en caso de producirse, los daños producidos en este tipo de estructuras necesitan que las reparaciones pasen por la colocación de prótesis o estructuras adicionales, materiales de reparación de características especiales o, en caso último, la demolición y nueva ejecución de las estructuras.

Por el contrario, cimentaciones y estructuras isostáticas como las cimentaciones corridas y muros de carga, son más sensibles a los cambios producidos en el terreno. A pesar de esta sensibilidad, la capacidad adaptativa de estas estructuras y la sencillez de su construcción, influyen positivamente en que las reparaciones sean técnicamente menos complejas y que incluso se mejoren las características originales de cimentaciones o estructuras.

El caso de estudio se corresponde con la segunda. Tras la estabilización del desplazamiento del muro pantalla, origen de las lesiones en el edificio de viviendas, y detenido el desarrollo patológico, las condiciones del terreno no volverían a variar. Se concluyó que se podía proceder a estabilizar estructuralmente el edificio, este extremo se refuerza con el análisis de la tendencia mostrada por las gráficas de velocidad de los asientos.

Este edificio, que como se ha indicado en su definición, constructivamente se caracteriza por tener una cimentación con zapatas de hormigón en masa sobre las que se sitúa una viga de apoyo de la que arrancan los muros de carga que conforman sus dos crujías. La reparación de la cimentación es el precedente necesario para la reparación de la estructura vertical del edificio, a los muros de carga, así como eliminando las grietas producidas por el asentamiento diferencial y devolviéndoles su resistencia.

### 7.1.- Condicionantes de la intervención

La intervención en una edificación dañada por una construcción contigua debe entenderse como una intervención integral. Los condicionantes, interrelacionados entre sí en distinta magnitud en función de la obra, pueden definirse como:

- **Legales o urbanísticos.** Qué posibilidad hay de intervenir en la edificación y bajo qué cobertura legal o condiciones (contrato, compromiso, plazo). También bajo qué figura urbanística (licencias de obra, orden de ejecución).
- **Técnicos.** Son los derivados de las posibles técnicas a aplicar en la obra en función de las lesiones presentes y la dimensión de sus recursos económicos asignados. En general todos los derivados de la realidad de la edificación.
- **Sociales.** Emanados de las necesidades de los usuarios de la edificación e íntimamente proporcionado con las circunstancias sociales.

En primer lugar, cualquier intervención edificatoria hay que enmarcarla bajo una serie de condicionantes legales y urbanísticos. Normalmente, en los casos en los que se interviene en un edificio sin emergencia, se somete la actuación a la preceptiva autorización municipal mediante la licencia de obra donde se analiza el proyecto y se comprueba que es acorde a la legislación.

No se evalúa en la presente investigación la decisión de intervenir, en relación al concepto de ruina o rehabilitación. La posibilidad de demoler completamente el edificio, en el caso de que se hubiese considerado irrecuperable, y construir uno de nueva planta hubiese añadido un condicionante social mayor puesto que, de acuerdo a la normativa urbanística vigente no sería posible realizar un edificio con la misma densidad de viviendas por metro cuadrado construido que el edificio

afectado posee, obligando a desplazar a otros barrios a parte de los actuales residentes.

A nivel técnico, cualquier intervención de rehabilitación en una edificación pasa por las posibles soluciones disponibles para resolver la patología que presente el edificio objeto. Estas deben resolver la totalidad de las necesidades que se establecen, o en su defecto, la mayor parte posible de las mismas, siempre dentro de un equilibrio económico que justifique la elección de la técnica a aplicar.

En el caso objeto de estudio, a nivel técnico, se presentaron los condicionantes propios de la rehabilitación de edificios de viviendas afectados por un asentamiento:

- Recalzar la cimentación de la edificación.
- Seleccionar una solución técnica existente en el mercado y de implantación inmediata.
- Que la solución fuese aplicable tanto a la cimentación exterior del edificio como a la interior, debiendo para ello contarse con maquinaria de pequeñas dimensiones.
- Que el coste de la ejecución fuese proporcionado a los objetivos de la rehabilitación.
- Que el conjunto de actividades o soluciones a adoptar fuese posible ejecutarlas en un periodo corto.

Cualquier intervención de este tipo, en el que las edificaciones se ven afectadas por daños que requieren el desalojo temporal de las personas que residentes, genera unas necesidades especiales a solventar (rapidez de actuación, alojamiento provisional, asistencia social y todas aquellas derivadas de la pérdida de la vivienda) que pueden condicionar en gran medida la solución a adoptar para resolver la patología generada. Factores como el arraigo a la vivienda o el barrio, el sentimiento de propiedad y los daños en bienes muebles pueden generar una alarma social en caso de no ser debidamente gestionados.

## 8.- RECALCE DE LA CIMENTACION

### 8.1.- Descripción de la solución adoptada

La dirección de los trabajos emite un dictamen en el que se concluye la necesidad de realizar un recalce de la cimentación del edificio por medio de la técnica de micropilotaje, se indica que el estrato resistente a alcanzar se encuentra a una profundidad media de 25 metros bajo la rasante y que a dicho nivel habrían de llegar los micropilotes.

Esta técnica es quizá una de las más extendidas a la hora de realizar recalces de cimentaciones, su contrastada fiabilidad desde los años 60 en los que se empezó a aplicar, el desarrollo técnico y la disponibilidad de empresas especialistas en el mercado para acometer obras de este tipo, hacen que sea la opción preferida por parte de los técnicos.

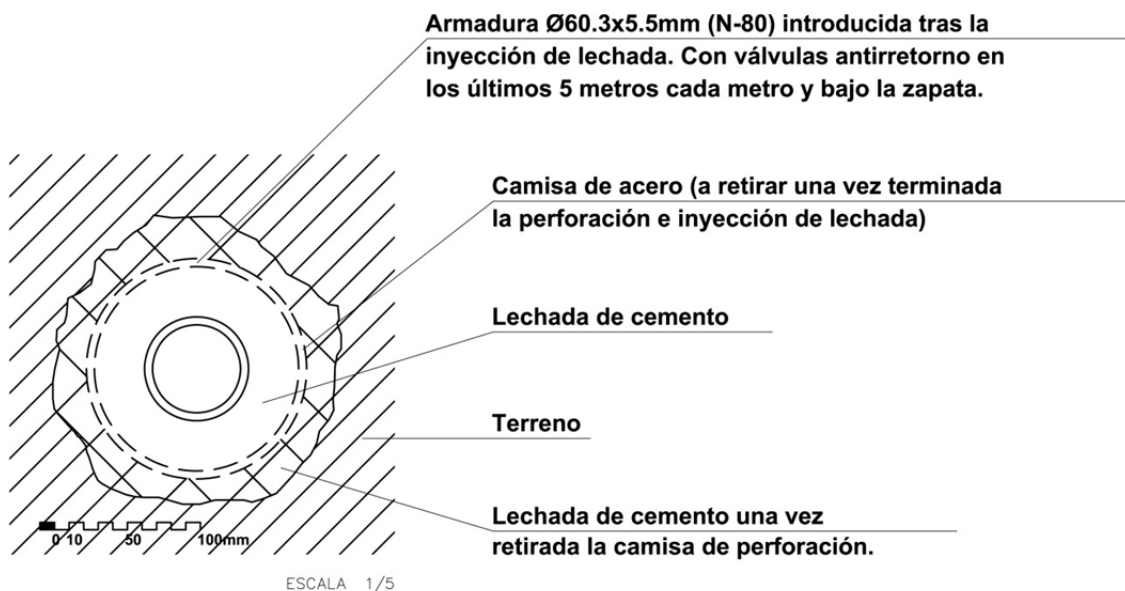
Los micropilotes se definen como *“micropilotes cilíndricos, de diámetro inferior a trescientos milímetros (300mm), perforados en el terreno, armados con tubería de acero reforzada a veces con una o varias barras corrugadas, e inyectado con lechada de mortero o cemento en una o varias fases”* (Ministerio de Fomento, 2008) y se pueden clasificar en función del sistema de inyección en:

- **IU.** Los inyectados en una sola fase, también denominados de inyección única global.
- **IR.** Los reinyectados hasta dos veces a través de tubos o circuitos con válvulas anti retorno, también denominados de inyección repetitiva.
- **IRS.** Los reinyectados varias veces a través de tubos-manguitos desde el interior de la tubería de la armadura, en toda la longitud del micropilote o en parte, también denominados de inyección repetitiva y selectiva.

Esta solución se aplica a estabilizaciones de terreno, creaciones de pantallas por micropilotes o sistemas de protección de las cimentaciones de edificios frente a intervenciones cercanas.

### 8.1.1.- Descripción del recalce por micropilotes

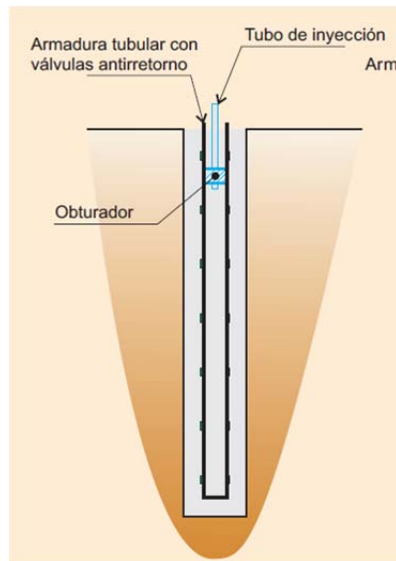
Para el caso que nos ocupa, los arquitectos directores, tras el estudio de la documentación técnica y la evaluación del estado del edificio, optan por realizar un recalce a base de micropilotes tipo IR, de 27 metros de longitud, de Ø140 mm de perforación con camisa de acero de Ø60.3 mm (tipo N80) y una inclinación respecto del eje vertical de entre 5 y 10 grados, colocados al tresbolillo a lo largo de toda la zapata, a una separación entre ejes de 2 metros en los muros exteriores del edificio y de 1 metro en el muro interior. (Figura 8.1).



#### SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN MICROPILOTE TEÓRICO DE Ø140MM

Figura 8.1. Sección transversal de micropilote Ø140mm.

El hecho de que se seleccionase el tipo de micropilote IR (Figura 8.2) responde a que se consideró oportuno realizar un bulbo en la parte inferior de las zapatas que favoreciese el apoyo del recalce en la zona de terreno de peor calidad. Esto se conseguiría mediante la inyección a presión de lechada de cemento a través de las válvulas antirretorno, controlándose en todo momento la presión y la cantidad de material inyectado.



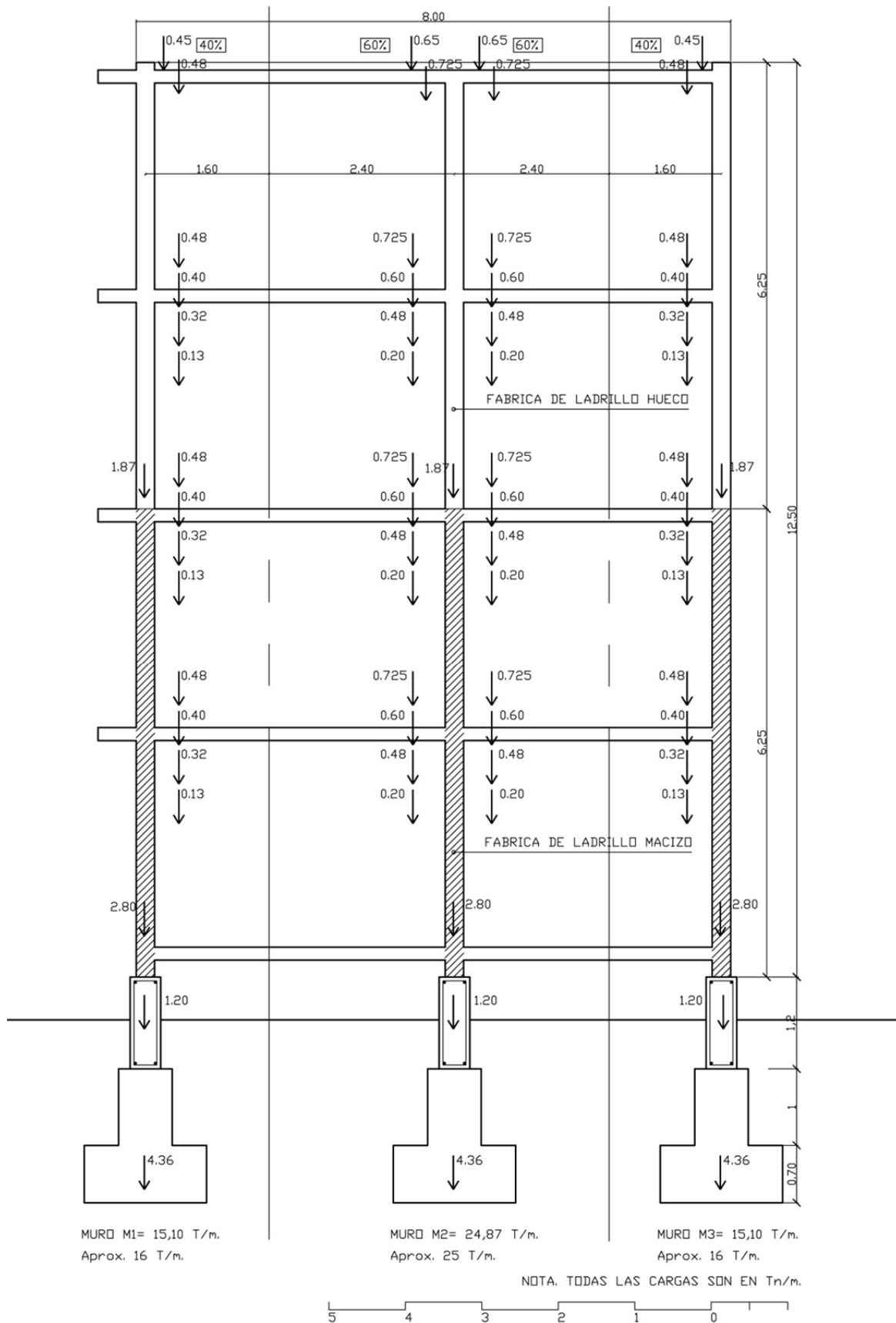
**Figura 8.2.** Esquema de un micropilote de tipo IR o de Inyección Repetitiva. Fuente: Ministerio de Fomento, 2008.

Para la caracterización de las fachadas se estimaron las siguientes cargas en los muros portantes del edificio (Figura 8.3), teniendo en cuenta de que se trata de una estructura isostática:

- fachada que contiene muros de carga: 16 t/m
- muro central: 26 t/m
- fachada que contiene cerramiento: 11 t/m
- muros de escaleras: 16 t/m

Tras el cálculo de las cargas totales de la edificación y las sobrecargas de uso se estableció que se necesitaban un total de 232 micropilotes en la cimentación, distribuidos tal y como se indicó anteriormente y conforme al plano de replanteo que realizó la dirección de las obras.

Con la solución se pretendía, por medio de los micropilotes, tanto buscar un apoyo en el estrato de las margas azules situado a unos 25 metros de profundidad media, como mejorar el terreno inmediatamente inferior al plano de apoyo de las zapatas. Debido al movimiento del muro pantalla, los estratos superiores del terreno fueron los más afectados por la descompresión y el movimiento combinado de asentamiento y desplazamiento horizontal. Con las inyecciones controladas bajo las zapatas se pretendía realizar una mejora considerable de las características del terreno de apoyo, (Figura 8.4)



**Figura 8.3.** Esquema de cargas del edificio. Fuente: Vicerrectorado de Infraestructuras. Universidad de Sevilla.



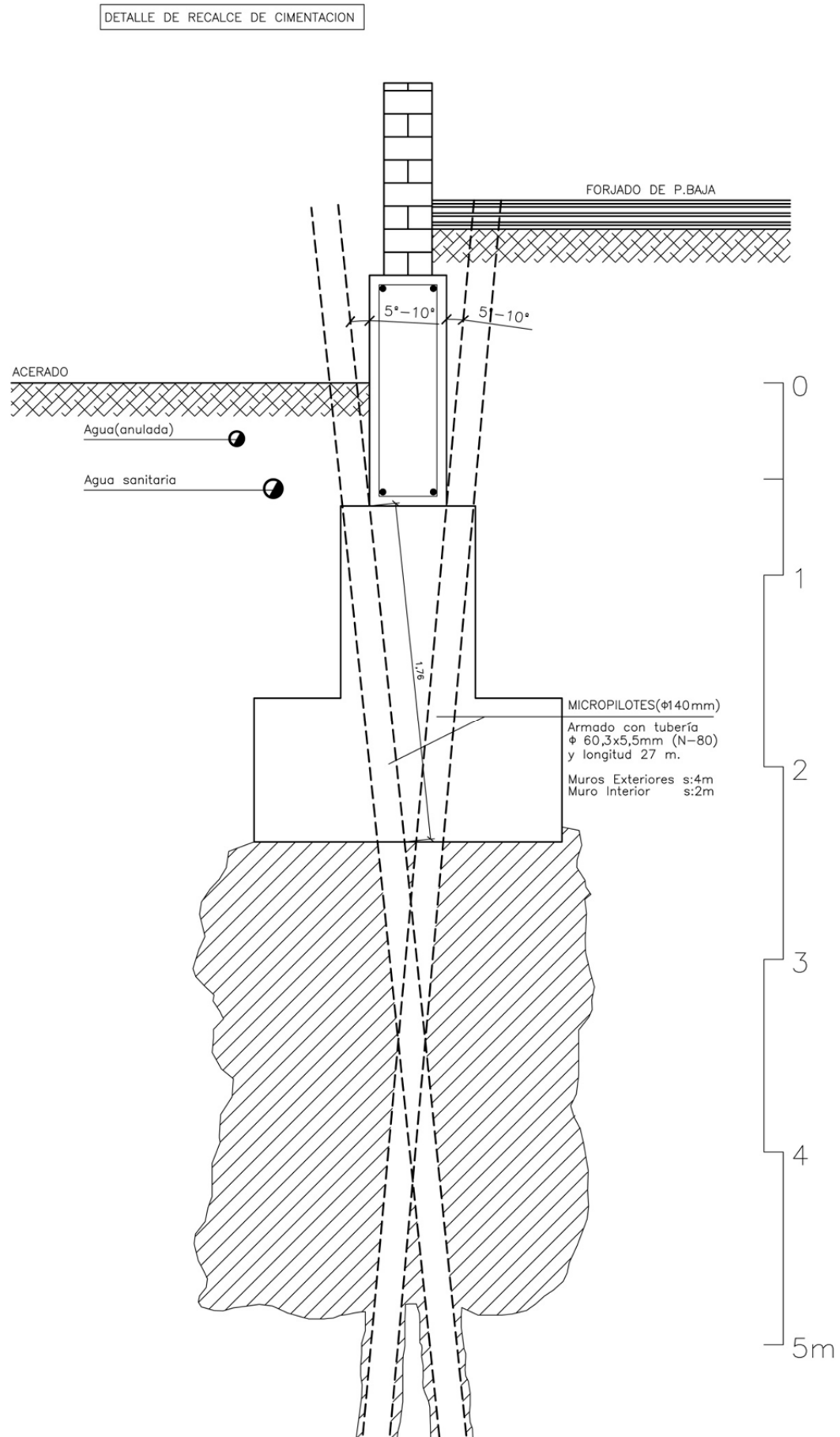


Figura 8.4. Detalle del recalce de la cimentación. Fuente: Vicerrectorado de Infraestructuras.

A pesar de que la edificación se vio afectada en distinto grado, en función de la proximidad al punto de mayor desplazamiento del muro pantalla, se realizó la misma solución en la totalidad de la cimentación. Esto se debe a que cualquier recalce debe realizarse en la totalidad de la cimentación para evitar que se produzcan distorsiones. Es decir, en caso de realizarse recalces parciales se corre el riesgo de que se produzcan puntos resistentes en las zonas recalzadas y que el resto de la cimentación, en caso de asentamientos futuros, genere nuevos daños.

Así mismo, dadas las condiciones de estabilidad y para no deteriorar la dañada cimentación, se definió que en ningún caso durante la perforación de los micropilotes se utilizase el sistema de rotopercusión. Este sistema de perforación se compone de la combinación de rotación del tubo de perforación con el martilleo hidráulico en la cabeza de empuje. Aunque mejora notablemente los rendimientos de operación, supone una fuerte agresión a la cimentación y la transmisión de vibraciones que pueden producir asentamientos o movimientos de la cimentación, dado el mal estado del terreno y su falta de compresión natural.

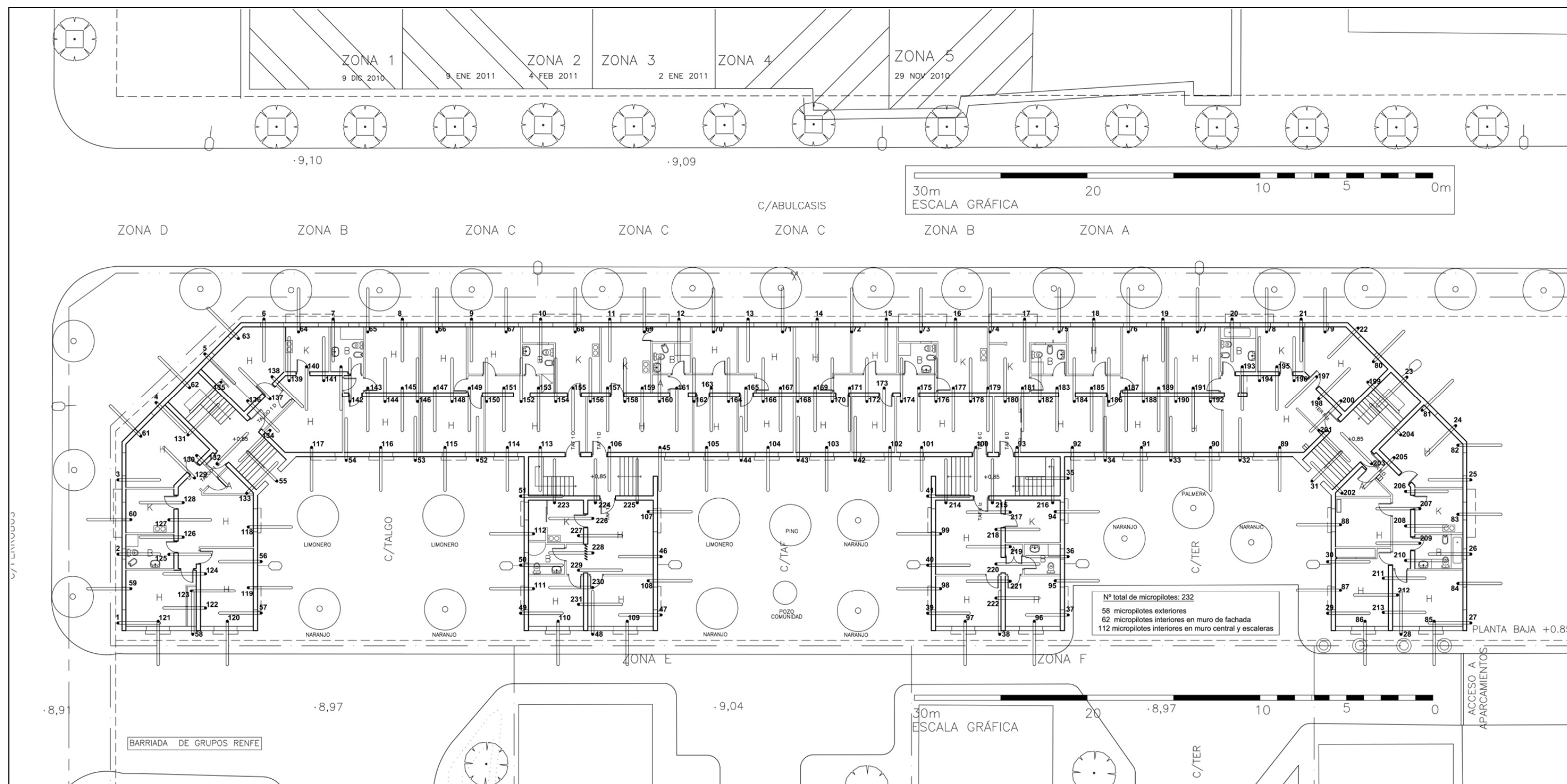


Figura 8.5. Plano de replanteo de micropilotes en el edificio. Fuente: Universidad de Sevilla.

### 8.1.2.- Ejecución de las obras. Problemas y soluciones ensayadas

En esta tipología de obras, dadas las especiales circunstancias y la posibilidad de interferencias entre la obra en ejecución, origen de la patología, y las obras en el edificio a recalzar, es necesario una planificación y organización entre ambas, estableciendo en primer término un canal de comunicación que sirva para coordinar las actividades a realizar.

#### Organización y planificación de la obra

Obras colindantes y relacionadas por un proceso patológico deben establecer como objetivo común la finalización de los trabajos en los plazos previstos, para ello debe primar la organización entre las obras y establecer una planificación conjunta de las actividades.

Actividades relativamente sencillas como desplazamientos interiores, accesos de maquinaria o personal, descargas y posicionamiento de medios auxiliares, pueden suponer verdaderos quebraderos de cabeza para los técnicos y afectar en gran medida en el desarrollo normal de las obras si no existen canales fluidos de comunicación entre los responsables de cada una de las obras.

En el caso objeto del presente análisis y dada la complejidad de las actividades a realizar en las dos obras, el escaso espacio entre las obras de uso común, la presencia de maquinaria pesada y grandes aportes o acopios de materiales, se consideró oportuno coordinar conjuntamente las actividades y evitar las posibles interferencias.

En la reunión inicial de coordinación entre obras se acordó compartir el espacio de la calle Abulcasis (Figura 8.6). Así, el recalce de la cimentación del edificio de viviendas se comenzaría en la parte más alejada de la obra de Ciencias de la Salud, permitiendo que en el lapso de tiempo hasta llegar a esa zona, se desarrollasen las labores de consolidación del muro pantalla y ejecución de la estructura del aparcamiento.

Otro factor a tener en cuenta en la planificación de esta tipología de obras es la propia secuenciación de los trabajos. En toda circunstancia en la que la seguridad estructural esté comprometida es necesario un plan de trabajo que desarrolle, más allá de la propia planificación temporal, el modo en que realizar los trabajos.

En función del grado de riesgo y del margen temporal, se puede valorar la posibilidad de realizar el recalce de tres modos distintos.

1. **Único:** Realizado en una única fase y con un único frente de trabajo que abarque la totalidad del elemento a intervenir. Este es aconsejable en cimentaciones de escasas dimensiones y riesgo estructural moderado.

2. **Secuencial:** Realizado en varias fases y con un único frente de trabajo que pasa tantas veces por la cimentación como se considere necesario a fin de ir consolidando progresivamente el elemento. Este es aconsejable en cimentaciones de grandes dimensiones y riesgo estructural elevado.
3. **Paralelo:** Sería la combinación de los dos anteriores en la que se crean varios frentes de trabajo que recalcen elementos independientes y que vayan consolidando de manera definitiva o secuencial la cimentación. Este es aconsejable en elementos complejos y en función de las necesidades.

Previamente a los trabajos propios del recalce, se realizaron todas las actividades complementarias y necesarias para la correcta ejecución de las obras como el vallado, señalización, instalaciones auxiliares, etc.

Esta tipología de obras lleva aparejada una serie de actividades previas al recalce y que son singulares para cada tipo de obra. En función de las características de ubicación o de tipología estructural de la cimentación a intervenir se hace necesario adecuar el plano de trabajo o descubrir los elementos constructivos, de modo que las actividades del recalce puedan ser debidamente replanteadas y controladas.

En el caso de estudio tras el replanteo de la ubicación de los micropilotes, al inicio de las obras se hizo necesario cajear los puntos de perforación a fin de asegurar las condiciones de inicio de la perforación, estas actuaciones auxiliares deben ser minuciosamente estudiadas a fin de preverse con la debida antelación, a pesar de su escasa magnitud no puede desdeñarse su importancia porque condicionarán notablemente la ejecución de los trabajos.

En relación a lo expuesto previamente la obra de recalce se organizó de manera paralela combinando dos frentes de trabajos secuenciales:

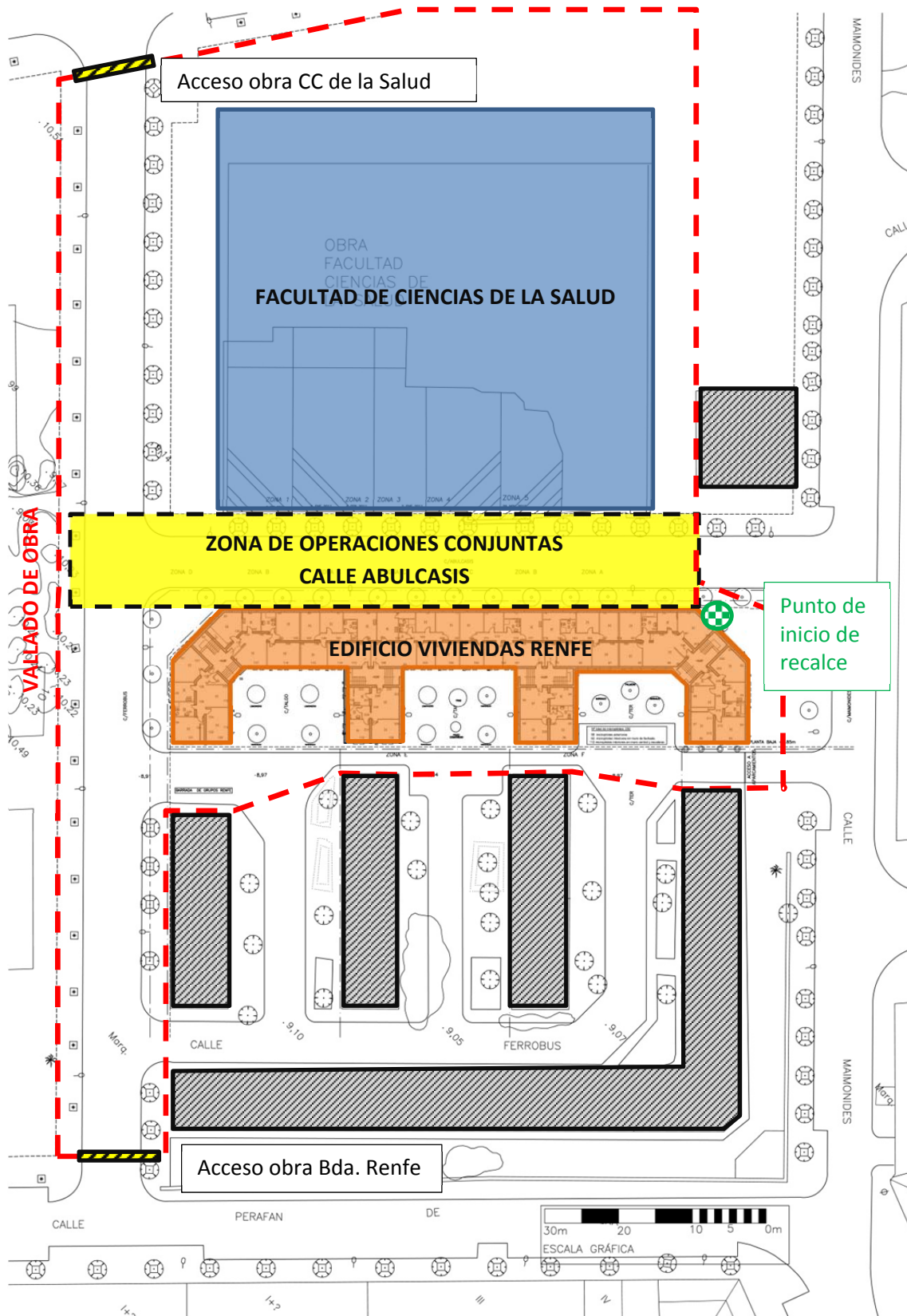


Figura 8.6.- Plano de la organización de la obra.

### Frente de trabajo 1. Cimentación de muros exteriores

Realizado de manera secuencial e iniciado el recalce en el punto que se muestra en la Figura 8.6. Con maquinaria de gran tamaño y rendimiento se ejecutó en primer lugar el recalce desde el exterior de la edificación que consolidase la cimentación, para posteriormente realizar el recalce desde el interior de la edificación con maquinaria de menor rendimiento y gálibo limitado.

### Frente de trabajo 2. Cimentación muro interior

Avanzado en cinco perforaciones el frente de trabajo 1, se inicia el recalce de la cimentación del muro central. Debido a la necesidad de utilizar maquinaria de pequeñas dimensiones y dado lo delicado del estado estructural se realiza un recalce secuencial con varias máquinas, de modo que se van realizando en ambas caras micropilotes dejando entre ellos la separación de dos-tres micropilotes para preconsolidar el muro, mientras que por detrás se va realizando el recalce definitivo.

La aparición de circunstancias que comprometen y complican los procesos de ejecución de este tipo de obras son frecuentes, debido principalmente a que se suele intervenir sobre elementos de cimentación antiguos y de los que se desconoce su proceso de ejecución. A pesar de que se realicen reconocimientos constructivos, estos suelen limitarse a definir geométricamente o materialmente los elementos de cimentación, toda la información posible recopilada de manera previa y correctamente analizada puede evitar posteriores circunstancias anómalas o que influyan negativamente en el proceso constructivo o la planificación general.

Ya en el momento de la perforación del primer micropilote se pudo constatar la primera problemática relacionada con lo expuesto anteriormente. A pesar de haberse realizado un estudio de reconocimiento de la estructura del edificio (Elabora, 2010). Dicho estudio de reconocimiento se compuso de la apertura de dos calicatas en el perímetro exterior del edificio con la finalidad de caracterizar la cimentación del edificio. En dicho estudio se representó gráficamente la cimentación del edificio (Figura 8.7) y se concluyó que:

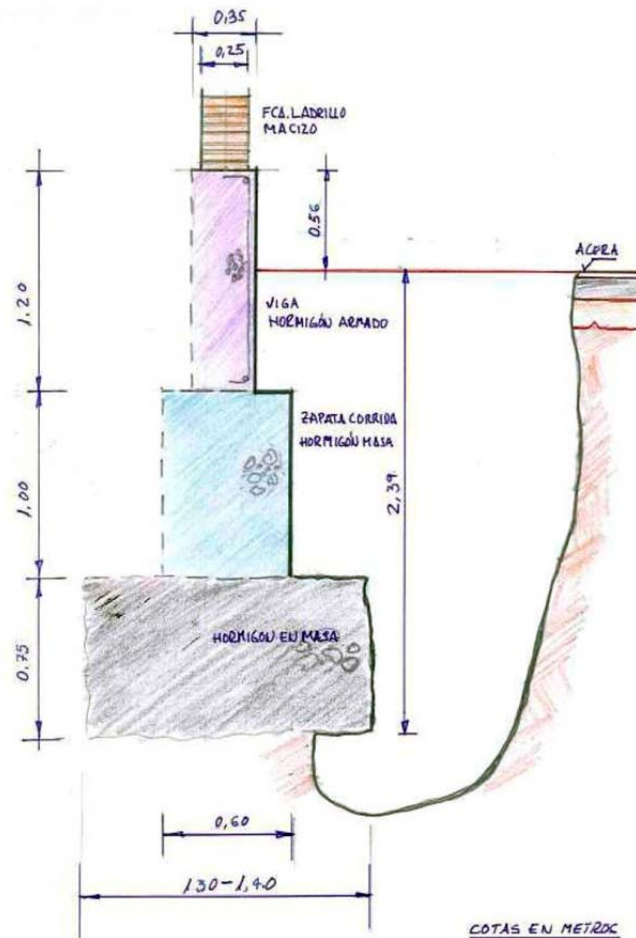
*“De las calicatas abiertas y deduciendo la parte oculta por simetría, podemos concluir en líneas generales que se trata de una cimentación ejecutada con los siguientes elementos:*

- *Bajo la fábrica de ladrillo de 25 cm se dispone una viga de hormigón armado de 0,35 m de ancho y 1,20 m de canto. Se detecta armadura superior e inferior formada por barras lisas de Ø 18 mm. No se detecta armadura intermedia o de piel.*
- *Bajo la viga se dispone una zapata corrida de hormigón en masa (encofrada) de 0,70 ó 0,60 m de ancho y 1,00 de canto. Se ha*



*chequeado con sonda magnética o pachómetro, no detectándose presencia de armadura de acero.*

- *Bajo esta zapata corrida se dispone una zanja corrida de hormigón en masa excavada sobre el terreno y de peor calidad que los anteriores. Las dimensiones de la zanja son de 1,30-1,40 (calicata 2) y 1,50 a 1,60 (calicata 1) m de ancho y de 0,75 y 0,80 m de profundidad.*
- *La profundidad que alcanza el cimiento desde la cota del pavimento exterior es de 2,50 m aproximadamente en la calicata 1 y de 2,40m en la calicata 2."*



**Figura 8.7:** Detalle de la cimentación del edificio de viviendas.  
(Elabora 2010 b).

La zapata intermedia de la cimentación, compuesta de hormigón en masa encofrado, se ausculta mediante sonda magnética para detectar la presencia de armaduras de acero que pudieran verse afectadas, a pesar de ello fue imposible detectar que en dicha zapata contenía en su masa de hormigón adoquines de granito que se usaron como relleno ciclópeo y que condicionó en gran medida la ejecución de los trabajos.

### La problemática de la perforación en el recalce exterior

La perforación para la ejecución de micropilotes se realiza por medio de las comúnmente denominadas “cabezas de widia” compuestas de carburo de wolframio o de carburo de tungsteno acopladas al varillaje de perforación por medio de rosca (Figura 8.10). El desgaste que se producía en dichos cabezales requería de varios cambios de estos para la realización de la perforación de una zapata y lo que suponía un consumo de fungibles superior a lo esperable para un hormigón en masa de baja calidad (Figura 9.11).



**Figura 8.10.** Cabezal de perforación en buen estado Ø140mm.



**Figura 8.11.** Cabezal de perforación desgastado Ø140mm.

Tras el análisis de los testigos extraídos se pudo observar que las zapatas de la cimentación se realizaron en su origen mediante un hormigón ciclópeo de baja calidad al que se le añadieron, posiblemente como sistema de reutilización de materiales, piezas de granito de un tamaño medio aproximado de 10 a 20 centímetros lo que generaba puntos de elevada resistencia y de desgaste de las cabezas de perforación. Esta problemática desaparecía tras finalizar el taladro de la zapata puesto que la perforación del terreno, de escasas características resistentes, se podía realizar en tres horas.

La zona en la que se asienta la edificación ha sido históricamente una zona ferroviaria y de ahí el origen de las viviendas. Es altamente probable que en la ejecución de la cimentación del edificio se utilizara en el hormigón restos de materiales procedentes del desmontaje de instalaciones férreas, como pueden ser balasto de vías, granitos de adoquinados, etc.

En la Figura número 9.12, además de las coronas de widia de Ø140 mm, se puede apreciar en el lado izquierdo del testigo extraído durante la perforación la magnitud de la inclusión de granito encontrada en la cimentación y en el lado derecho del mismo los restos del hormigón en masa. Se aprecia la baja calidad del hormigón y, en cambio, el elevado diámetro de los áridos utilizados en su composición. En la Figura 9.13 se puede observar en el testigo Ø200 mm extraído las inclusiones de granito, así como la irregularidad dentro de la masa de hormigón.



**Figura 8.12.** Testigo extraído durante las perforaciones de zapatas.



**Figura 8.13.** Testigo extraído durante las perforaciones de vigas de cimentación.

Esta problemática generó la necesidad de buscar una solución alternativa a la perforación de las zapatas puesto que con los rendimientos obtenidos en las primeras perforaciones, la ejecución de un micropilote podía extenderse una jornada entera. El rendimiento, definido al inicio de la obra por la empresa adjudicataria, para los micropilotes realizados en el exterior de la edificación y ejecutados por una máquina de perforación de elevadas prestaciones debía ser de 60m/día, alcanzándose en estas circunstancias un rendimiento situado en un rango de 20 a 30m/día, con lo que se pudo identificar que bajo esas circunstancias sería imposible cumplir la planificación acordada.

La importancia de cumplir los objetivos temporales era máxima para poder abordar, tras el recalce de la cimentación, las reparaciones estructurales e interiores de las viviendas y así devolver las viviendas afectadas a sus propietarios en los plazos comprometidos. Este punto justificó la búsqueda de soluciones alternativas mediante la aplicación de otras técnicas de perforación en las zapatas.

### **Soluciones ensayadas para la perforación de zapatas**

Descartada la posibilidad de realizar la perforación con martillo en cabeza, a fin de evitar la transmisión de vibraciones a la cimentación y la estructura superior, se llevaron a cabo por parte de la empresa adjudicataria, y bajo la supervisión del director de ejecución de la obra, una serie de soluciones destinadas a corregir los rendimientos que se venían obteniendo hasta esa fecha y que imposibilitaban la finalización de la obra en el plazo establecido.

La primera de ellas (Figura 8.14 y 8.15) consistió en la utilización de un cabezal especialmente modificado y dotado de trialeta perdida, con ello se pretendía al ser elementos puntiagudos, concentrar las cargas de la perforación y conseguir una mejora en el ritmo de perforación. Tras un único intento de perforación, se desechó el sistema pues en la prueba la trialeta quedó completamente desgastada, (Figura 8.16).





8.14



8.15



8.16

#### Figuras

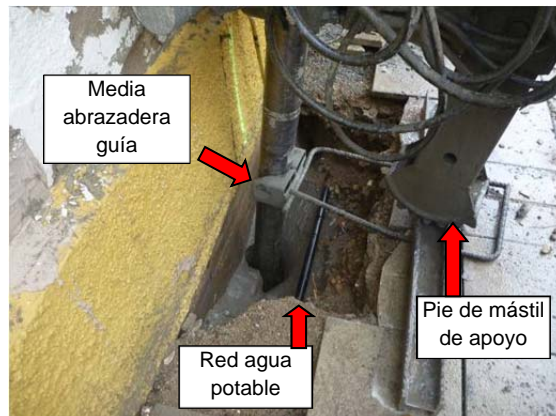
**8.14.-** Detalle de trialetas a utilizar.

**8.15.-** Trialetas adosadas a cabezal específicamente modificado y listo para comenzar la perforación.

**8.16.-** Estado final. Nótese el completo desgaste de las aletas y los residuos de margas.



**Figura 8.17.-** Equipo de perforación situado



**Figura 8.18.-** Perforación en ejecución

Para la colocación del equipo a 7° respecto de la vertical, en lugar de anclarlo a los muros mediante tacos, se optó por la solución de crear una plataforma metálica que se mantenía fija por el peso propio. (Figura 8.17 y 8.18).

La segunda solución ensayada fue la perforación de la zapata mediante un taladro eléctrico dotado de broca de corona de diamantes para corte húmedo (Figura 8.19). Este sistema consistía en la colocación del taladro eléctrico en el punto con la inclinación necesaria para realizar la perforación de la zapata (Figura 8.20), de manera previa a la micropilotadora.



**Figura 8.19.** Equipo sobre plataforma, corona de diamantes y testigo extraído



**Figura 8.20.** Equipo en ejecución



**Figura 8.21.** Perspectiva superior



**Figura 8.22.** Corona de diamantes con extensor

La principal problemática de este sistema consistió en las coronas de diamante, tenían una longitud máxima útil de 70cm (Figura 8.22) y debían realizar la perforación en dos fases, realizar un primer corte, extraer el testigo y volver a perforar.

El rendimiento de perforación en el terreno aumentó notablemente, llegando a realizar de 70 a 80m/día, lo que obligó a incluir en el desarrollo de la obra un segundo equipo para abrir el frente de trabajo. Habiendo alcanzado un rendimiento global de 60m/día, se realizaron 55 unidades de micropilotes en 26 días laborables.

### **Perforación del recalce desde el interior**

El recalce en edificaciones que requieren acceso a su interior y trabajar en espacios reducidos tanto en altura como en superficie, condicionan en gran medida la maquinaria a utilizar y los rendimientos de trabajo de los especialistas, además pueden darse circunstancias que complican los procedimientos de trabajo y que requieren medios especiales para asegurar la producción o las condiciones de seguridad de las operaciones.

En el interior de las viviendas, la cota de trabajo se encuentra a 1.60m sobre el punto de perforación de la zapata, ello conlleva la dificultad de salvar esa

magnitud de rellenos. También es necesario estabilizar el punto de inicio de la perforación para evitar que resbale por la cara lateral de la zapata dado el cerrado ángulo de incidencia para el recalce ( $5-10^\circ$ ).

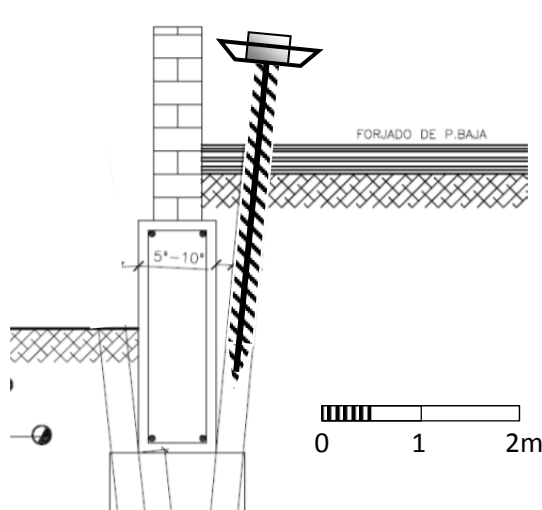
La primera perforación, realizada con una máquina ligera especialmente diseñada para el trabajo en interiores, se comienza a las 8.00 horas y finaliza a las 18.15h, una significativa disminución de rendimiento. El rendimiento normal para esta máquina 40m/día mientras que en la práctica apenas se superó los 20m/día.

### Soluciones ensayadas en la perforación interior.

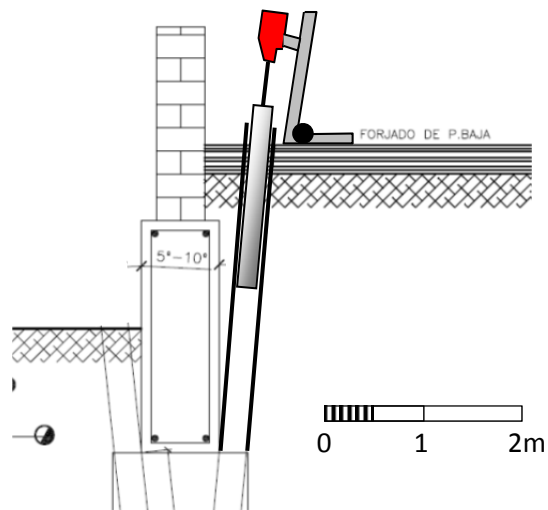
Las soluciones a adoptar pasaron por tres versiones:

1. Se diseñó un sistema basado en la apertura de un hueco cilíndrico en el relleno mediante un ahoyador (Figura 8.23) y posteriormente colocar un tubo de PVC como sistema de contención del relleno para permitir la introducción del taladro eléctrico con corona de diamante y un extensor del eje del taladro (Figura 8.24).

El motivo por el cual esta solución fue desechada radicó en la imposibilidad de controlar la inclinación de la perforación con el ahoyador puesto que no se pudo encontrar un soporte.



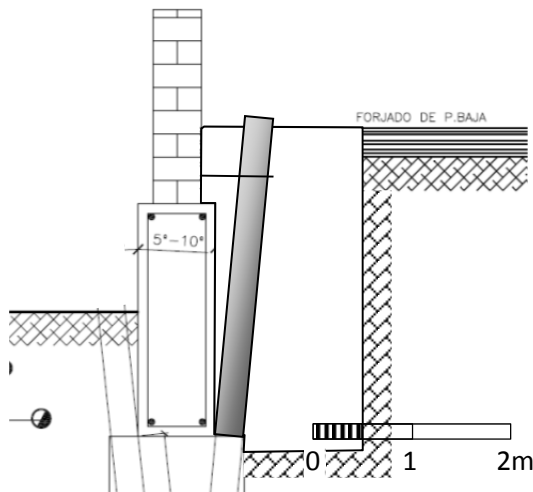
**Figura 8.23.**  
Fase 1.- Apertura de hueco con ahoyador.



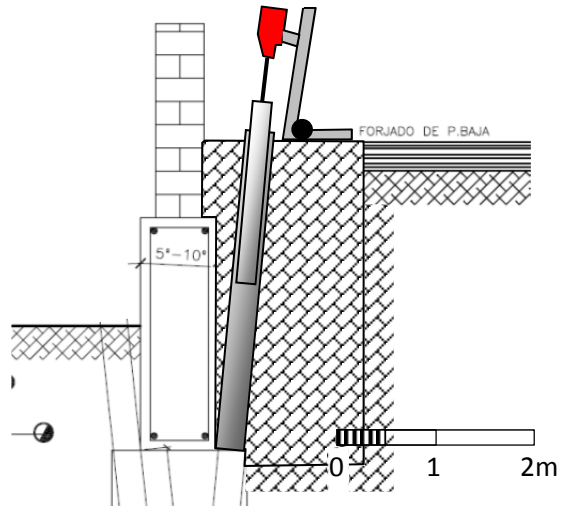
**Figura 8.24.**  
Fase 2.- Entubado con PVC y posterior perforación con taladro eléctrico.

2. Otra solución planteada consistía en abrir un cajado para la colocación de una tubería de PVC como guía (Figura 8.25) y posteriormente rellenar el cajado y tras ello ejecutar la perforación de la zapata por medio del taladro eléctrico. Esta fue la solución adoptada y probada en las catas de en la zapata central (Figura 8.26).





**Figura 8.25**  
Fase 1.- Excavación y colocación de tubería guía.



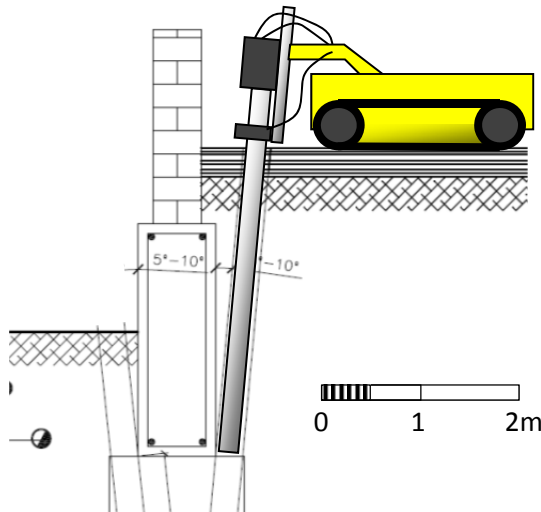
**Figura 8.26.**  
Fase 2.- Relleno de cajeadado y posterior perforación.

Esta solución no se aplicó debido a la enorme cantidad de mano de obra que requería la excavación, más la colocación de tubería y el relleno por medios manuales, que convertían a la solución en inviable económicamente y temporalmente.

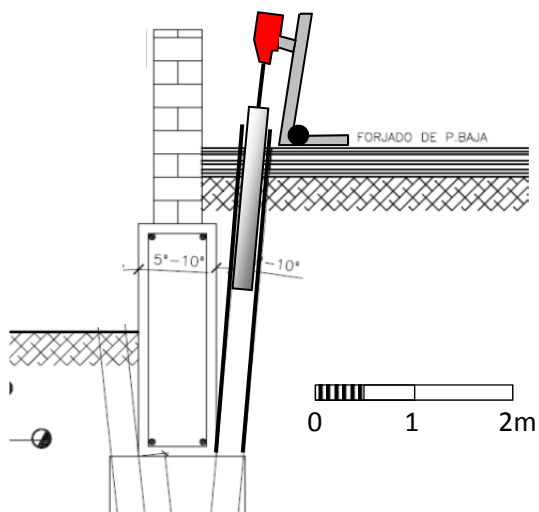
3. Esta variante de la anterior consistía en eliminar la excavación realizando la perforación de los rellenos de planta baja por medio de las máquinas micropilotadoras (Figura 8.27) y después realizar la colocación de la entubación guía, finalizando con la perforación de la zapata por medio del taladro eléctrico. Esta multiplicación de las tareas implicaba realizar una enorme coordinación destinando una máquina exclusivamente a la apertura de huecos en el relleno y, tras avanzar lo suficiente, posteriormente dedicarse a las perforaciones de terreno y ejecución de micropilotes.

Si bien esta solución mejoraba los aspectos más inconvenientes de las anteriores al realizar la perforación de las zapatas con el taladro eléctrico (Figura 8.28), se detectó que debido a la necesidad de trabajar en un plano de apoyo tan alejado de la zapata, era necesario colocar una serie de extensores al taladro que, a su vez, utilizaba brocas de diamantes de dimensiones especiales (Figura 8.29). El problema surgió al atascarse varias veces y ser imposible sacar los testigos perforados por causa del pandeo y vibraciones a las que se veía sometida la broca, por lo que este sistema también fue finalmente desechado (Figura 8.30).





**Figura 8.27.**  
Fase 1.- Ejecución de perforación con micropilotadora



**Figura 8.28.**  
Fase 2.- Entubación y perforación con taladro eléctrico.



**Figura 8.29.**  
Imagen de la broca especial de diamante

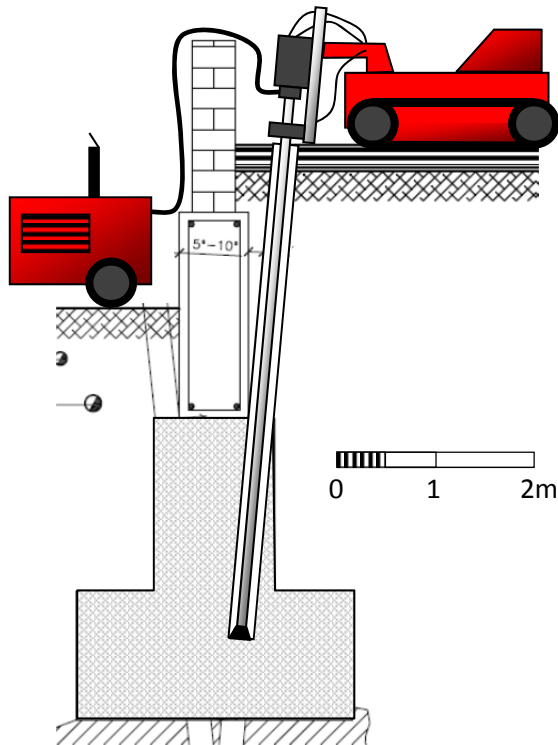


**Figura 8.30.**  
Sistema en prueba, realizando el taladro de la zapata.

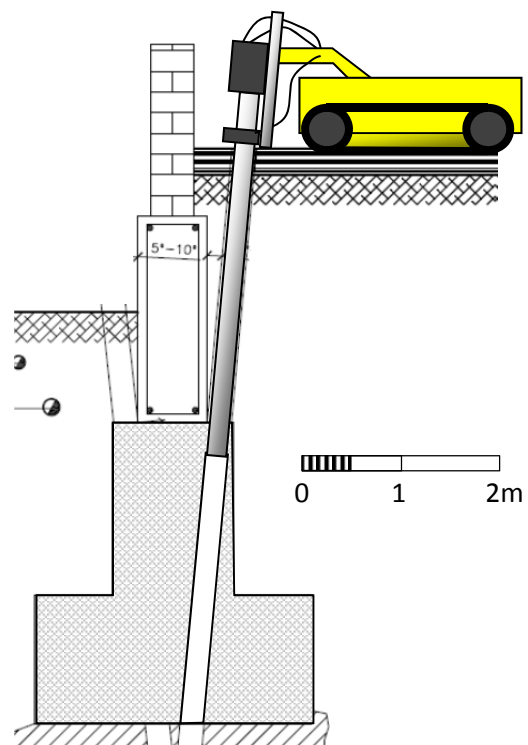
4. La solución final fue un sistema de perforación con martillo de fondo. Consiste en utilizar una broca perforadora que a la vez que gira, un compresor neumático a través del interior de la vaina, suministra la energía necesaria para realizar la percusión de avance (Figura 8.31). Difiere del sistema de perforación con martillo en cabeza en que este segundo proporciona la percusión de manera mecánica en la maniobra de la máquina, mientras que el martillo de fondo lo hace en la corona de perforación mediante presión neumática, consiguiéndose una menor disipación de la energía y aumento del rendimiento. (Figuras 8.33-36), para finalmente, tras la perforación, realizar el micropilote por los medios convencionales (Figura 8.32).

El primer aspecto que hubo de tener en cuenta fue cómo afectaría la percusión dado el estado en que se encontraba la cimentación y la

estructura de muros de carga superiores. Se decidió realizar una prueba controlada y observar el comportamiento de paramentos y fisuras en el entorno. No se detectó aumento en las fisuras del edificio u otros síntomas que indicasen que la estructura se estaba viendo afectada. Exteriormente el edificio ya se encontraba completamente recalzado, favoreciendo la estabilidad del conjunto y evitando el aumento considerable de asientos o movimientos. El rendimiento obtenido resultó satisfactorio y se pudieron realizar en una jornada la apertura de varias perforaciones de zapatas.



**Figura 8.31.**  
Fase 1.- Perforación de zapata con martillo de fondo.



**Figura 8.32.**  
Fase 2.- Ejecución de micropilote.



**Figura 8.33.** Máquina posicionada para perforar



**Figura 8.34.** Detalle del varillaje de perforación



**Figura 8.35.** Detalle lateral, corona de perforación.



**Figura 8.36.** Detalle inferior, corona de perforación

A partir de la aprobación por parte de la dirección técnica de las obras del sistema, para la ejecución de micropilotes se estableció un procedimiento de trabajo que consistió en una máquina dedicada en exclusiva a abrir las perforaciones y tras ella, las micropilotadoras, e ir ejecutando secuencialmente y conforme al programa de trabajo, el recalce.

Con este sistema se consiguió recuperar el rendimiento; 232 unidades de micropilotes de 27 metros de longitud fueron ejecutados en 94 días laborales (resultado de sumar las jornadas realizadas 69 más 25 jornadas ejecutadas a doble turno), alcanzando un rendimiento global de 67 m/día, superior al teórico global definido que debería ser aproximadamente de 54m/día.

La aplicación de estas medidas permitió cumplir los objetivos de terminar en la fecha establecido para ello. Permitiendo que se iniciasen los trabajos de reparación de la estructura vertical de muros, los revestimientos y los acabados interiores.

### **El sistema de inyección**

Uno de los principales factores a tener en cuenta en la realización de recalces es el consumo de cemento del sistema seleccionado. El hecho de intervenir sobre el terreno siempre lleva asociada la incógnita de no poder visualizar el resultado de la intervención, la única manera de comprobar la efectividad de las medidas es mediante ensayos hechos a posteriori o de los consumos de materiales inyectados en el terreno durante las obras. Esta cuestión afecta principalmente al coste de la solución adoptada aunque también hay que tener presente que la efectividad o durabilidad de las medidas está en relación directa con el correcto dimensionado de las mismas. Es decir, la finalidad para la que una solución sea concebida puede verse comprometida si la cantidad teórica de lechada de cemento prevista no se ajusta a las necesidades reales

en la puesta en obra. Por ejemplo, en el caso de que la cantidad de lechada de cemento sea insuficiente pueden producirse vacíos en el micropilote o falta de revestimiento que afectarán a la resistencia mecánica o a la durabilidad de estos. El caso contrario es más improbable, las empresas especializadas no consumirán exceso de material, pero las direcciones técnicas, por cumplir unos consumos teóricos establecidos en proyecto y dadas las incertidumbres que genera el micropilotaje, pueden forzar las presiones de inyección para asegurar el contenido de lechada y generar subpresiones bajo el área de influencia del recalce.

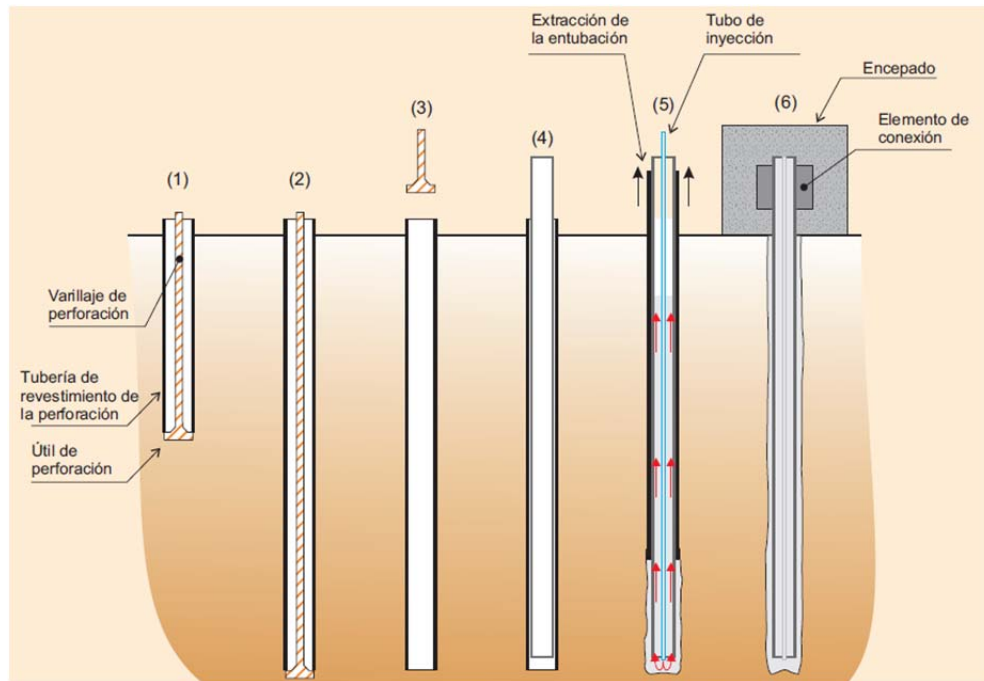
Es por tanto necesario definir específicamente, tras un estudio pormenorizado de las características del terreno y de las necesidades de la solución, el consumo real previsto para la actuación a fin de poder establecer el coste real de las unidades de obra y planificar las necesidades.

También en este caso, el hecho de actuar con las circunstancias de emergencia condiciona en gran medida la posibilidad de realizar un estudio pormenorizado del consumo teórico de la solución, si bien, las tres ofertas con las que se contaron para la adjudicación de las obras definieron un consumo similar 30,33 y 35 kg/m.

Tras el inicio del recalce, los datos obtenidos mediante los sondeos, la auscultación tomográfica del terreno y el control de niveles digitales, presentan unas características del terreno muy deficientes, ello requerirá que se replantee el sistema inicial de inyección de lechada.

En las primeras perforaciones se observaron heterogeneidades en la resistencia a la perforación, con la presencia de algunos puntos de elevada resistencia, posiblemente debidos al encuentro con cantos o graveras, pero en general se apreció una escasa resistencia a la perforación, no siendo necesario aumentar el par de empuje de la maniobra de la maquinaria.

Se planteó la perforación en un momento inicial mediante el uso de un sistema común de perforación (Figura 8.37), ejecutando en una primera fase la introducción conjunta de la camisa o vaina de la perforación y del trépano de perforación (1) y (2). Posteriormente retirar el trépano de perforación (3) y, tras limpiar con agua el interior de la camisa, introducir la armadura (4) y después la lechada de cemento para garantizar el revestimiento de esta. Tras lo anterior retirar la camisa exterior (5) y en último término realizar las inyecciones a través de las válvulas.



**Figura 8.37.** Proceso ejecución micropilotes. (Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera, Ministerio de Fomento. 2005).

A la vista de la escasa calidad del terreno se decidió realizar una modificación a este sistema a fin de asegurar la funcionalidad del recalce. Dicha modificación consistió en suprimir el trépano y realizar la perforación con la propia camisa, después tras limpiarla, inyectar la lechada de cemento e introducir la armadura. Como modificación importante se realizaría la retirada de la vaina conjuntamente a una nueva inyección de lechada a baja presión hasta la saturación del terreno, para finalmente realizar la inyección del interior de la armadura a través de tubos maguito. Esta técnica se denomina “inyección en retirada” y la composición de la lechada fue una mezcla de cemento CEM II/A-L 42.5R y agua en una relación agua/cemento entre 0,40 y 0,55.

Conjuntamente a lo anterior, puesto que en las armaduras se dispondrían válvulas anti retorno para las inyecciones de lechada, estas se dispusieron en los 7 últimos metros para la creación de un bulbo resistente justo bajo las zapatas del edificio.

Las modificaciones se debieron a:

1. La escasa consistencia del terreno que no requería la perforación mediante trépano, pudiéndose realizar la perforación directamente con corona de diamantes en la camisa e inyección de agua a presión para la eliminación del detritus. Con esto se mejora el rendimiento de la perforación al eliminar una maniobra.
2. Tras detectarse en las perforaciones zonas de muy escasa resistencia que sugieren la presencia de oquedades, con la inyección en retirada

se pretende evitar que la armadura quede desprotegida por una pérdida de lechada de recubrimiento.

3. Mediante esta técnica de inyección se consigue rellenar las posibles oquedades del terreno con lechada de cemento, mejorando sus características mecánicas.
4. La realización de inyecciones, a una presión controlada, bajo las zapatas consigue mejorar las características de un terreno caracterizado como relleno antrópico y consolida la cimentación evitando la progresión de los asentamientos.

El nuevo proceso de ejecución del sistema se puede resumir en las siguientes fases, obviando la fase previa de taladro de la zapata que fue descrita en el apartado anterior:

**Fase 1.-** Se realiza la perforación del terreno mediante la camisa de Ø140mm dotada en el fondo de una corona de widia. La perforación se realiza acoplando por rosca varios tramos de tubería. Este proceso va acompañado de la inyección a través de la camisa de agua a presión para la eliminación del detritus de perforación y la refrigeración del tubo.

**Fase 2.-** Tras llegar a la profundidad definida, en este caso 27 metros de perforación, se introduce en el interior de la camisa una manguera semirrígida hasta el fondo de la perforación y se bombea agua desde abajo para eliminar del interior de la camisa el detritus procedente de la perforación (Figura 9.39). Este bombeo se detiene cuando se observa por la parte superior de la camisa que el agua sale limpia.

**Fase 3.-** Retirada la manguera de agua y estando la camisa llena, se introduce también mediante manguera y desde abajo hacia arriba la lechada de cemento que al ser más densa que el agua empuja a esta para vaciarse por la parte superior de la camisa. Este proceso se detiene cuando se observa que lo que sale por la parte superior de la camisa es lechada de cemento no diluida en agua. A continuación se realiza la introducción de la armadura (Figura 8.38), para ello se izan las armaduras y se van uniendo por medio de manguitos roscados. A medida que se va produciendo su montaje se va dejando caer por gravedad e introduciéndose en la camisa. Al finalizar este proceso hay que tener la precaución de tapar la rosca final mediante una pieza roscada, para evitar la contaminación interior de la armadura.

**Fase 4.-** Colocada la armadura se extrae la camisa, para ello se rosca la maniobra de la máquina perforadora y se van extrayendo los tramos de tubería de camisa, desmontándose y acopiándose de manera progresiva. A medida que se va extrayendo la camisa y el desmontaje de las tuberías, se procede a



realizar la inyección en retirada para garantizar el recubrimiento de la armadura y la mejora del terreno, hasta la extracción total de la camisa.

**Fase 5.-** Entre 12 y 24 horas (para favorecer la rotura hidráulica) después de realizar el exterior del micropilote, se procede a rellenar el interior de la armadura e inyectar desde las válvulas, para ello se utiliza un obturador simple que crea, por presión neumática, un tampón en interior de la armadura e inyecta por debajo de dicho tapón. El obturador se baja hasta la profundidad deseada, se fija y se bombea a través de él (Figura 8.40 y 8.41).



**Figura 8.38.** Armadura introducida en camisa



**Figura 8.39.** Limpieza interior de armadura



**Figura 8.40.** Obturador neumático



**Figura 8.41.** Obturador colocado



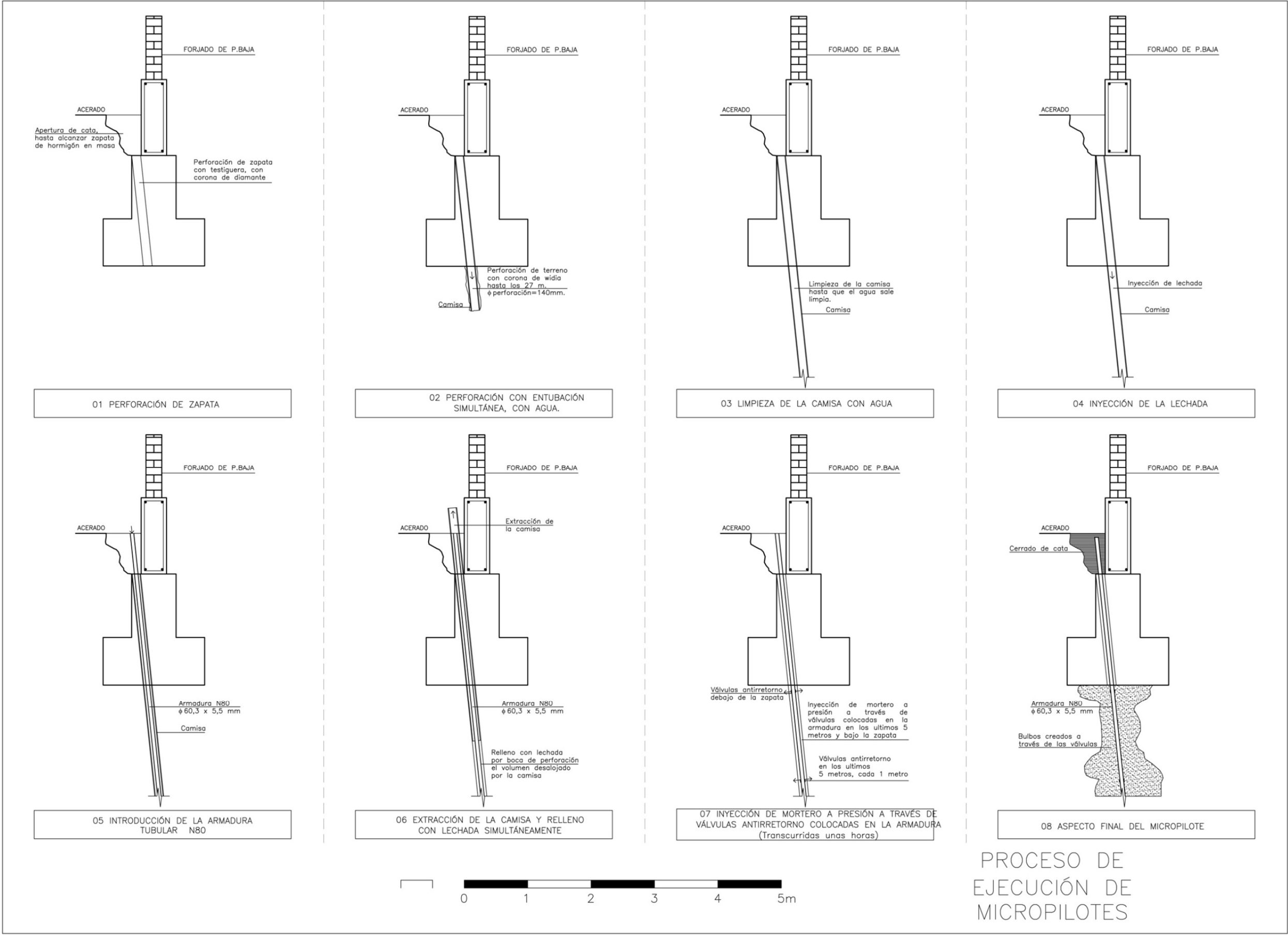


Figura 8.42. Proceso de ejecución de micropilotes.

La aplicación de este sistema tuvo consecuencias en el desarrollo previo esperado al inicio de las obras, algunas de las negativas fueron:

1. La aplicación de este sistema produjo el aumento considerable de consumo real de cemento frente al consumo previo estimado y que, dada su significación, se procede a explicar más adelante.
2. Conjuntamente al aumento del consumo de cemento se produjo un elevado consumo de agua.

Mientras que los resultados positivos que se pueden apuntar son:

1. Se garantizó el recubrimiento de la armadura e incluso mejoró la sección útil en zonas de baja consistencia.
2. La inyección en retirada conllevó la realización de una mejora del terreno que mejoró sustancialmente las características del terreno.
3. El proceso de ejecución de la obra se vio favorecido puesto que la combinación de la inyección en el terreno con una ejecución al tresbolillo, implicaba ir preconsolidando el terreno a la ejecución de micropilotes. Esto se mostró en la resistencia a la perforación que presentaba el terreno, la cual aumentó a medida que se densificaba el recalce.
4. La inyección bajo las zapatas mejoró notablemente el apoyo de estas, evitándose cualquier riesgo de asentamiento por socavación.
5. Se esperaba algún tipo de asentamiento ya fuese por la ejecución o residual a la patología que no se ha producido.

### Consumo de cemento y agua

La aplicación del sistema de “inyección en retirada” en el recalce de la cimentación produjo un aumento considerable del consumo de cemento y agua. Si bien la empresa adjudicataria estableció que el consumo esperado en la ejecución de los micropilotes sería de 0,035t/m, los resultados obtenidos en obra fueron muy distintos.

Así, el consumo teórico ( $C_t$ ) de cemento hubiese sido:

$$C_{t \text{ total}} = 230u \times 27m/u \times 0,035t/m = 217,35t \quad (1)$$

$$C_{t \text{ unitario}} = 27m/u \times 0,035t/m = 0,945t/u \quad (2)$$

Mientras que el consumo real ( $C_r$ ) de cemento en la obra fue:

(Para el cálculo del consumo real se ha contabilizado la entrada total de cemento en la obra y se estableció una pérdida por ejecución del 6.5% del total)

*Entrada de material = 827,86t*

$$C_{r \text{ total}} = \text{entrada} - \text{pérdidas} = 827,86t - (6,5\% \text{ de } 827,86t) = 774,05t \quad (3)$$

$$C_{r \text{ unitario}} = C_r / \text{unidades ejecutadas} = 774,05t / 230u = 3,365t \quad (4)$$

Se establece por tanto un % de aumento en el consumo:

$$\%(C_r / C_t) = 3,365t / 0,945t = 356\% \quad (5)$$

O lo que es lo mismo, por cada tonelada de cemento consumido en la ejecución de micropilotes, 2,3 t han sido destinadas a la mejora del terreno.

La magnitud de esta cifra permite hacerse una idea de la relevancia que, dentro del proceso de ejecución del recalce, ha tenido la mejora del terreno por inyección frente al recalce por micropilotes.

Cabe indicar que si la totalidad del cemento consumido se hubiese empleado en los micropilotes y manejando el dato de consumo teórico definido en 0,035t/m. Se realiza un cálculo para una perforación de Ø140mm y volumen teórico (Vt) igual a 0,015m³, la densidad teórica (Dt) sería 2333kg/m³, realizando un cálculo inverso:

$$\text{Volumen unitario (V}_{ru}) = C_{r \text{ unitario}} / D_t = 3365kg/u / 2333kg/m^3 = 1,442m^3/u. \quad (6)$$

El cual dividido por su longitud de 27m, correspondería una sección de 0,053m² y Ø 260mm.

Conjuntamente al elevado consumo de cemento se produjo un elevado consumo de agua, se realizó una acometida provisional, tras la finalización de la obra marcó un volumen de consumo de 6.045m³, para hacer una representación gráfica de lo que este consumo supone se pueden exponer las siguientes cifras:

$$\text{Volumen total de la edificación} = 10.937,50m^3$$

*Relación en porcentaje entre volumen del edificio y volumen de agua consumida = 6.045m³/10.937,50m³ = 55.26%. (Representado simbólicamente en la Figura 9.43).*

El consumo de agua en la fase posterior al recalce es el usual en una obra de rehabilitación.



**Figura 8.43.** Comparativa entre el volumen del edificio y el volumen de agua consumida.

## La gestión de residuos

Las tareas de micropilotaje llevan aparejadas, dada la necesidad de perforar con agua para la refrigeración de las perforadoras, grandes cantidades de residuos, especialmente de lodos y de aguas.

La realización de trabajos de recalce en espacios confinados o en zonas urbanas requiere de la correcta organización y planificación de los trabajos a fin de solventar la necesidad de gestionar los residuos de construcción y demolición tal y como establece el RD 105/08 (Ministerio Medio Ambiente, 2008).

La presencia de múltiples instalaciones en el entorno de los edificios o conectadas a estos como pueden ser el alcantarillado, el abastecimiento de agua potable, electricidad, etc, requiere que se establezca un sistema de gestión eficaz de los residuos que se generan en las perforaciones o en la ejecución de los micropilotes. En caso contrario pueden producirse filtraciones, atascos o contaminaciones de estas redes y que las pondrán fuera de servicio, siendo necesario a posteriori intervenir sobre ellas con el consiguiente sobre coste para la obra.

Estos condicionantes se ponen más de manifiesto cuando se interviene sobre un edificio en condiciones de emergencia. El inicio de obras de este tipo, que normalmente se realizan sin proyecto previo y por lo tanto sin el estudio de gestión de residuos preceptivo por la normativa vigente, no suele llevar aparejado el diseño o la organización de un sistema de gestión de residuos.

En la obra, conscientes de esta circunstancia, se diseñó un sistema para gestionar los residuos generados en el proceso de micropilotaje. El sistema consistía en la instalación provisional de dos depósitos (Figura 8.47) de gran capacidad enterrada en una de las plazas de la urbanización, a ellos acometían varios colectores de PVC que, de manera alterna, iban rellenando el volumen de estos. En el lapso de llenado de uno, en el otro se realizaba de manera natural el decantado de los lodos tras el cual se extraía el agua superior para su vertido a la red de alcantarillado y, por último, la extracción de los lodos mediante bomba fanguera (Figura 8.46) y su trasvase a camiones cisterna para su transporte.

Se situaron varios colectores a la altura de la solería interior de las viviendas y se le dio pendiente hacia los depósitos y mediante un tramo final adaptado que se cambiaba manualmente se llenaban de manera alterna los depósitos.

Las ventajas que se obtuvieron con la aplicación de este sistema fue la eliminación de la entrada de residuos en el alcantarillado y la racionalización de medios, al reducir los costes de limpieza.

A continuación se muestran imágenes de la solución adoptada.



**Figura 8.44.**Excavación de pozos



**Figura 8.45.**Sistema instalado



**Figura 8.46.**Bomba fanguera y manguera



**Figura 8.47.**Depósitos



**Figura 8.48.**Cisterna en carga



**Figura 8.49.**Sistema en funcionamiento

## 8.2.- Alternativas disponibles para el recalce

La necesidad de realizar recalces de cimentación es tan antigua como la propia construcción de cimentaciones, la necesidad de actuar bajo los cimientos de edificios debido a la aparición de daños relacionados con el terreno, o la mejora de cimentaciones por el aumento de cargas debido a ampliaciones de las construcciones, han ido de la mano en el desarrollo técnico de la construcción. Si bien es cierto que a partir de mediados del siglo XX, con la aparición de las teorías conservacionistas en la arquitectura, se desarrollan técnicas como el



micropilotaje, técnicas cada vez más complejas y que requieren de personal y conocimientos especializados (Herbst. 2007).

Ese desarrollo nos ha llevado hoy día a disponer de una gran amplitud de soluciones, desde las técnicas más sencillas y que actualmente denominamos técnicas tradicionales, a los micropilotes, inyecciones y sus variantes. Cada una de ellas posee sus características propias y singularidades, una mala elección de la solución a aplicar puede conllevar daños posteriores, siendo necesario conocer en profundidad cada una de ellas y la aplicabilidad al caso concreto, puesto que la generalización puede llevar al fracaso de las intervenciones (Da Casa et al 2012).

En general se puede establecer la siguiente clasificación:

1. **Recalce mediante técnicas tradicionales:** Entendido estas como las técnicas menos complejas y tecnificadas, históricamente utilizadas para resolver problemáticas en las cimentaciones (Romero Durán, 2007).
  - **Recalce por aumento de la superficie de apoyo.** Utilizado para disminuir el traslado de tensiones al terreno en el que se encuentra apoyado la cimentación y realizado mediante el aumento de la anchura de la zapata o mediante la creación de losas armadas entre las zapatas.
  - **Recalce por profundización del plano de apoyo.** Realizado para trasladar las cargas a un estrato competente inferior al que en ese momento se encuentra apoyada la cimentación. Su realización implica la ejecución por bataches y el descalce parcial transitorio de la cimentación.
2. **Recalce por mejora del terreno subyacente.** Basada en la inyección a presión de material en el terreno en el que se apoya la cimentación para la mejora de alguna o varias de las características de este. A su vez se puede subdividir en dos grandes grupos:
  - 2.1. **Las inyecciones armadas de cemento:** Que como su nombre indica consisten en la inyección mediante armadura metálica de lechada de cemento en el terreno, esta técnica a su vez puede ser aplicada con varios fines (Da Casa et al. 2007).
    - **Inyecciones de impregnación.** Realizadas a muy baja presión, la finalidad de estas es disminuir la porosidad del terreno y aumentar la impermeabilidad de este.
    - **Inyecciones de compactación.** Se realizan a media presión, inyectando un material de gran viscosidad que desplaza el terreno en el entorno del punto de inyección, sin introducirse en sus poros, aumentando la presión de éste y mejorando su cohesión.

- **Inyecciones de baja movilidad.** Destinadas a realizar rellenos en puntos determinados y que se realizan con la inyección de materiales de gran viscosidad a fin de evitar su dispersión en el terreno.
- **Inyecciones de fracturación.** Se realizan a media o alta presión introduciendo un material de baja viscosidad, que busca la fracturación del terreno mediante la inserción de la lechada y al ser esta de rápido fraguado, crea una red de rigidiza el terreno.
- **Inyecciones de desestructuración** o también conocidas como “jet grouting”. Se basan en la introducción de lechada a muy alta presión en el terreno que mediante un sistema de barrenado y cuya extracción crea columnas de nueva consistencia en el terreno.

**2.2. Las inyecciones de resina expansiva de poliuretano:** Consistente en la inyección en el terreno de resina de poliuretano con la finalidad de mejorar las condiciones mecánicas del terreno, mejorar su comportamiento frente al sismo o permeabilidad.

A continuación se realiza un análisis comparado de las posibles soluciones que se hubieran podido aplicar en la obra objeto de la investigación, mostrando las virtudes y desventajas de su aplicación al caso concreto descrito.

### **8.2.1.- Recalce por técnicas tradicionales.**

Las técnicas tradicionales de recalce se pueden definir como aquellas que han existido previamente a la segunda mitad del s. XX y que se caracterizan por su sencillez técnica y material. Este tipo de técnicas han existido durante siglos y han sido las principales soluciones hasta la aparición de técnicas mucho más complejas relacionadas con la protección del patrimonio.

El fallo en la interacción entre el terreno y la cimentación de un edificio, sin entrar a considerar el origen, ha sido parejo a la propia construcción. Los fallos en esa interacción derivados de sobrecargas, cambios de uso, sismos, etc., se han producido a lo largo de la historia y tradicionalmente se han resuelto técnicamente de la manera más sencilla. En épocas previas a los sondeos, los reconocimientos geofísicos, los ensayos y la caracterización de propiedades, tipo y características del terreno se basadas en la experiencia y en la observación de catas.

En algunos casos, en zonas donde los terrenos son de muy escasa calidad, se desarrollaron técnicas para la mejora del terreno previa a la ejecución de nuevas construcciones como puede ser la hincas de rollizos de madera para mejorar la resistencia mecánica del terreno y que ya se definía por Vitrubio en sus “Diez Libros de Arquitectura” (Vitrubio, 2007). Pero hay que indicar que este tipo de técnicas eran previas a la construcción y que en los casos en que los fallos se producían tras la construcción se actuase directamente sobre las



cimentaciones para corregir la interacción entre terreno y cimentación. Las dos variedades han sido el aumento y la profundización de la superficie de apoyo.

### **Recalce por aumento de la superficie de apoyo**

Responde principalmente a la necesidad de equilibrar los esfuerzos de acción y reacción entre cimentación y terreno. La escasa superficie de contacto entre ellos produce que la cimentación transmita un esfuerzo por encima de la resistencia del terreno.

Con el aumento de la superficie de la cimentación, ya sea implementando la existente o sustituyéndola por una nueva, se reduce el esfuerzo transmitido por debajo de la capacidad resistente del terreno. Asegurando las condiciones de estabilidad de la estructura o adecuando la cimentación a las posibles nuevas sollicitación es que se produjeran en la construcción.

### **Recalce por profundización del plano de apoyo**

Este tipo de recalce tradicional es aplicable en los casos en los que el terreno presenta unas características muy deficientes en cuanto a resistencia o expansividad y que en circunstancias en las que es imposible aumentar la superficie de apoyo, por ejemplo en el caso de actuar sobre medianeras.

Su técnica consiste en trasladar las cargas de la cimentación del edificio a estratos más profundos y resistentes, cuando los utilizados son de escasa resistencia. Principalmente se han venido utilizando en zonas con rellenos antrópicos o en edificios existentes en los que se ha querido crear un sótano.

En cualquiera de los dos casos anteriores, la intervención sobre la cimentación supone actuar en una cimentación cargada, con lo cual la organización de los trabajos y el procedimiento de ejecución son determinantes para el éxito del recalce. Obliga a ejecutar los trabajos por medio de bataches, asegurando el estado de carga de los elementos existentes y la puesta en carga progresiva del recalce de la cimentación. Todo ello conlleva el uso de múltiples elementos auxiliares como puntales, apeos, cimbras, etc., que obstaculizan los trabajos y condicionan las dimensiones de los elementos a utilizar.

Los rendimientos de trabajos de este tipo de actuaciones son muy bajos debido a la elevada mano de obra, la imposibilidad de utilizar grandes maquinarias y a los reducidos espacios de trabajo, lo que hace desfavorable su aplicación a gran escala.

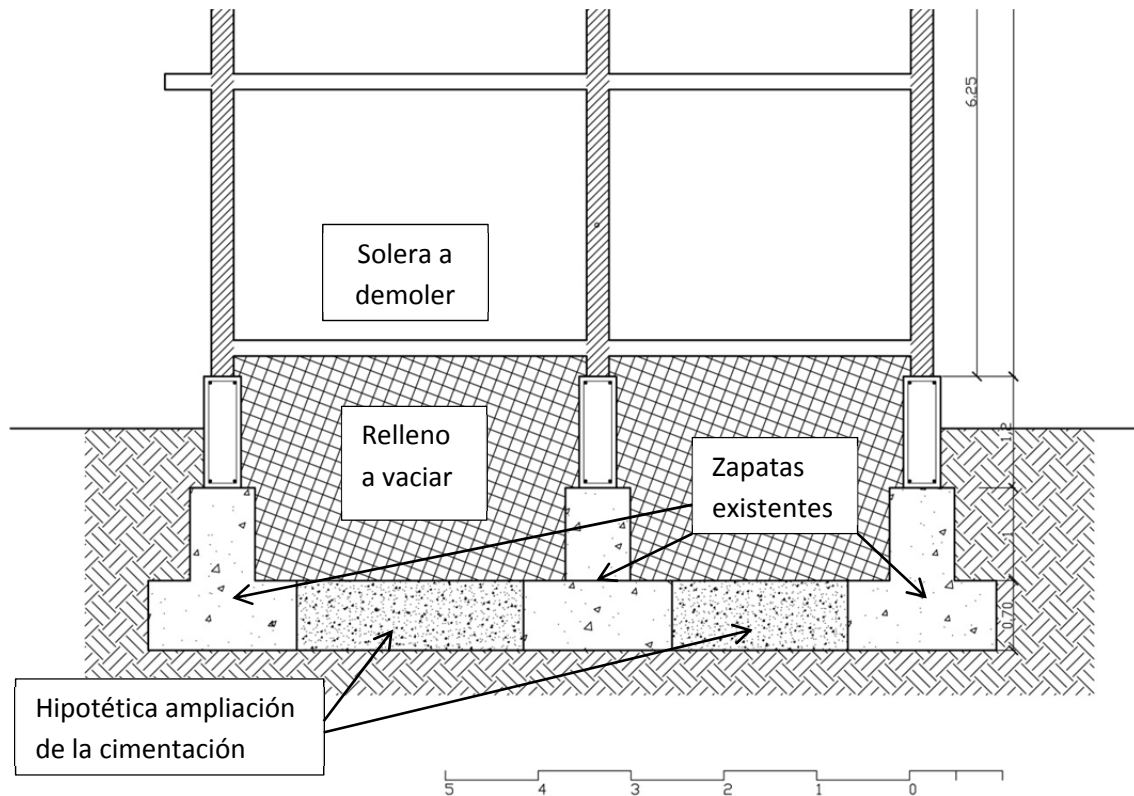
### **Aplicabilidad al caso de estudio**

El análisis sobre la aplicabilidad a la obra objeto se debe basar, dada la escasa complejidad de la técnica de estas, en las características del terreno y los rendimientos, que condicionan la aplicabilidad de la solución a la vista de las circunstancias técnicas y sociales de la obra.

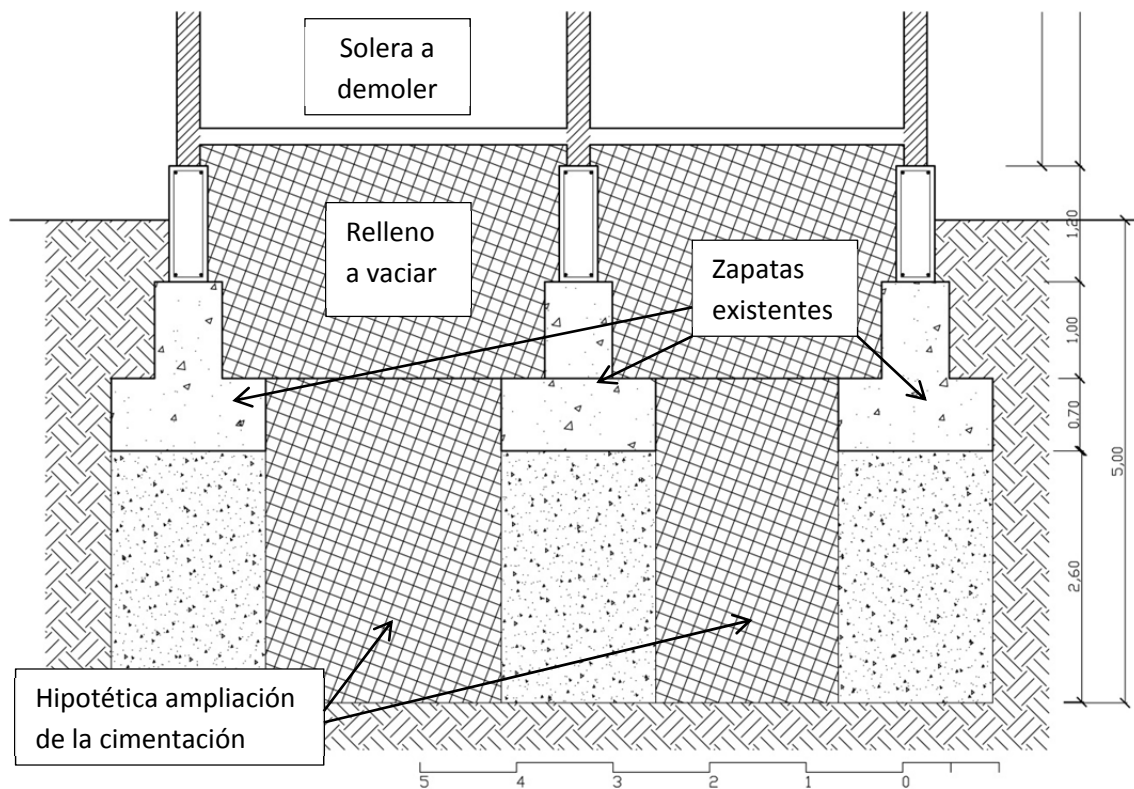
Así mismo, no hay que olvidar que a pesar de las malas características del terreno, yendo al origen de las causas que propiciaron la patología, no fue una sobrecarga motivada por un cambio de uso del edificio sino un cambio en las condiciones de compresión del terreno.

El hecho de que la edificación no haya sufrido daños por asentamientos en sus 60 años indica que la interacción terreno-cimentación, al menos hasta antes del cambio en las condiciones del terreno, ha sido correcta y que con las características dimensionales y materiales originales garantiza la estabilidad del conjunto.

Considerando la hipótesis de aplicar alguna de las dos técnicas tradicionales descritas, tanto por aumento de superficie (Figura 8.50) como por profundización del apoyo (Figura 8.51), hubiesen requerido una gran cantidad de medios auxiliares y de obras complementarias para su ejecución. En concreto hubiese sido necesario realizar el vaciado del relleno interior del edificio sobre el que descansa la planta baja. Ello hubiese conllevado rendimientos de trabajo muy bajos, que sumados a la organización necesaria para la realización de la ampliación de la cimentación, la preparación de los sistemas de conexión a las zapatas existentes hubiesen imposibilitado realizar los trabajos en un plazo que permitiese la consecución de los compromisos sociales.



**Figura 8.50.** Sección transversal. Esquema de hipotético recalce por aumento de superficie.



**Figura 8.51.** Sección transversal. Esquema de hipotético recalce por profundización de apoyo.

Ambas soluciones también llevan aparejadas una serie de factores importantes que habrá que tener en cuenta a la hora de valorar la idoneidad de las soluciones. Las circunstancias de riesgo estructural en las que habría que realizar los recalces afectan muy directamente a las condiciones de seguridad de los trabajos, los grandes vaciados a realizar en los laterales de la cimentación existente pueden suponer un riesgo a la estabilidad de las mismas en el marco de un terreno de baja calidad y descomprimido. Este riesgo conlleva la necesidad de realizar grandes apuntalamientos para garantizar que durante el proceso no se produzcan fenómenos de asentamientos derivados del proceso de ejecución.

Se considera que la solución de aumento de superficie descrita en la Figura 8.44, ampliaría los márgenes de seguridad de los esfuerzos respecto a la solución original del edificio y que estuvo vigente durante sus primeros 60 años. Esta implica un aumento del 60% en la superficie de apoyo de la cimentación, lo que reduce la carga sobre el terreno. Si bien esta reducción de cargas no introduce ninguna seguridad frente a posibles fenómenos de compactación natural del terreno descomprimido tras el movimiento del muro pantalla.

La solución descrita en la Figura 8.50 define la creación de una zapata de hormigón en masa bajo las existentes, para ello es necesario realizar un vaciado completo del interior del relleno y la profundización de la cota hasta unos 5 metros bajo la rasante, para alcanzar el estrato de arcillas y que presenta unas características superiores al estrato inicial de limos sobre el que se asentaba el edificio. En cualquier caso no presenta características suficientes como para garantizar las condiciones de seguridad puesto que además de su baja capacidad portante, en el movimiento de la pantalla este estrato se vio también afectado por la descompresión del terreno en el movimiento del muro pantalla. Esta solución requiere el descalce provisional de las zapatas, la inferior de las cuales, ya en las inspecciones que se realizaron, mostró una escasa calidad tanto material como de ejecución. Este descalce supone un riesgo importante de daños adicionales en la estructura creados por la modificación de la distribución de cargas.

Otro factor a tener en cuenta es que la aplicación de esta solución al edificio, mientras que también se ejecutan las medidas de consolidación del muro pantalla y no se garantiza la estabilidad del terreno, es que es muy sensible a posteriores movimientos del terreno que pueden volver a afectar a la estructura y agudizar los daños existentes.

Ambas soluciones descritas en este apartado se presentan inadecuadas para resolver el asentamiento de la cimentación del edificio:

- La solución de aumento de superficie de cimentación, a pesar de reducir notablemente las cargas al terreno, no garantiza su funcionalidad frente a asentamientos diferidos en el tiempo de la zona descomprimida.
- La solución de profundización de la cota de apoyo, necesaria para trasladar las cargas hasta el siguiente estrato situado a unos 5 metros bajo la rasante, tampoco resuelve la problemática puesto que, además de entrañar serios riesgos técnicos por el descalce provisional, dicho estrato no se considera suficiente para el apoyo de la cimentación.
- Ambas soluciones presentan muy bajos rendimientos, derivados de la cantidad de rellenos a retirar como del entorno en el que realizar los trabajos. Ello hubiese imposibilitado realizar las obras en el plazo definido para devolver las viviendas reparadas a sus propietarios.
- Los riesgos para la seguridad de los trabajadores en la fase de recalce del edificio son muy elevados, más allá del riesgo estructural del edificio y debido a la necesidad de descalzar cimientos o de trabajar muy por debajo de la rasante de la calle.

En general ambas soluciones se muestran desfavorables para la resolución de la problemática en el edificio con lo que se considera necesario valorar otras opciones disponibles y que a pesar de ser más complejas y especializadas puedan resolver el asentamiento.

### **Recalce por mejora del terreno subyacente**

A partir de la segunda mitad del siglo XX se han venido desarrollando una serie de técnicas de intervención en el terreno, que han ido relegando a las técnicas tradicionales y de igual modo, garantizando los resultados y seguridad de los recalces.

Estas parten de la premisa de intervenir sobre el terreno para modificar alguna o varias de sus características mediante la introducción de algún material para dotarlo de cualidades que previamente no tenía. Con ello se pretende mejorar la interacción terreno-cimentación, no interviniendo directamente en la cimentación puesto que sus elementos rara vez son dañados en los procesos de asentamiento.

El desarrollo de estas técnicas, unido a una elevada especialización en la materia y la complejidad técnica de las mismas ha permitido que el conocimiento se haya confiado a las empresas especialistas. Los técnicos intervinientes en los procesos edificatorios tienen el conocimiento general, si bien ciertos autores (Da Casa et al. 2007) hacen notar acertadamente que las

variedades de este tipo de técnicas y las diferencias de utilidad en cada una de ellas es un déficit del conjunto de las profesiones técnicas.

Así mismo, muchas de estas técnicas se encuentran protegidas bajo patentes comerciales, por lo tanto ofertadas por empresas especializadas.

En el presente apartado se pretende definir dos sistemas representativos de recalces por mejoras en el terreno subyacente, la inyección armada de cemento por medio de tubos manguitos y la inyección de resinas expansivas de poliuretano. Posteriormente se analizará la aplicabilidad de cada una de ellas en el caso de estudio.

### **8.2.2.- Recalce mediante inyecciones armadas de cemento**

Esta técnica, más allá de limitarse a la mera inyección a presión de lechada de cemento en el terreno que se ha demostrado válida para casos en los que el terreno presenta oquedades u otras deficiencias portantes (Warner. 2012), tiene una multitud de variedades con las que se pueden conseguir diferentes resultados sobre un terreno.

A pesar de idearse originalmente para el refuerzo de terreno bajo cimentaciones, han sido de más comunes en el ámbito de la obra civil y concretamente en los tratamientos de estabilización de terrenos. Valga de ejemplo la construcción de un aparcamiento subterráneo en esta ciudad (Da Casa et al, 2005), donde los condicionantes de espacio y protección de patrimonio requerían la toma de medidas para la estabilización de taludes en la excavación. En el desarrollo de la construcción incluso ha habido otras aplicaciones de esta técnica más allá de la mejora de terrenos, la versatilidad y control sobre los resultados finales ha permitido que se aplique en la reparación de estructura de fábrica históricas (Rodríguez-Mayorga et al. 2013).

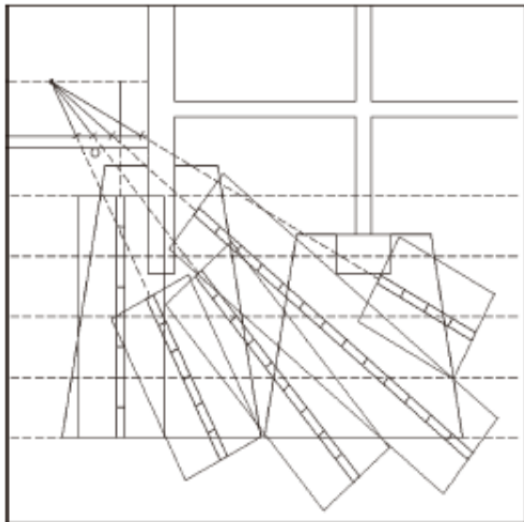
La composición material y los resultados de cada una pueden variar significativamente, si bien, el sistema de ejecución en la mayoría de ellas es común. Este se basa en la perforación del terreno hasta la zona subyacente a la cimentación. Para allí, tras la introducción de un abanico de tuberías de acero dotadas de válvulas anti retorno en su longitud (Figura 8.52), realizar las inyecciones de lechada de cemento destinadas a mejorar las características del suelo (Figura 8.53).

La dosificación y características de la lechada de cemento variarán en función de la viscosidad, la resistencia y la velocidad de fraguado que se pretenda conseguir. Otros factores a tener en cuenta serán la agresividad del terreno y la presión a la que realizar la inyección.

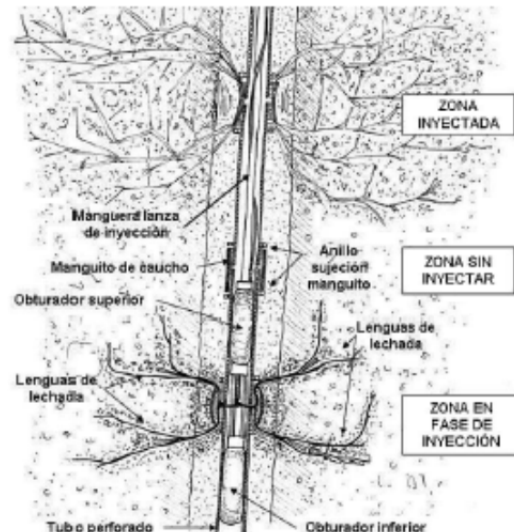
Este tipo de inyecciones realizadas por medio de tubos manguito, permiten que se realicen tanto de manera unitaria, en la totalidad de la longitud del tubo,

como de manera selectiva por cada una de las válvulas. Con el uso de obturadores se pueden realizar incluso de manera secuencial repitiendo la inyección en un punto concreto si se considera necesario. A pesar de lo que pueda parecer, estos sistemas permiten que se establezca un elevado control sobre las inyecciones, donde con la supervisión de las cantidades de material, las presiones de inyección y las densidades, unidas a un buen conocimiento del terreno se puede valorar la efectividad de la intervención bajo rasante. El control material se complementa con la nivelación milimétrica del edificio para así detectar durante el proceso posibles levantamientos en el edificio, fruto de la presión de inyección.

Así mismo, los tubos de acero para la inyección colaboran en la resistencia del tratamiento, actuando como armaduras en el terreno tratado. De igual modo, como únicamente se actúa sobre el terreno no es necesario confiar la funcionalidad de la solución a enlaces entre la cimentación existente y el sistema de recalce, como ocurre en los recalces tradicionales o el micropilotaje.



**Figura 8.52.** Esquema de actuación en abanico. (Da Casa et al 2007)



**Figura 8.53** Detalle de inyección. (Da Casa et al 2007)

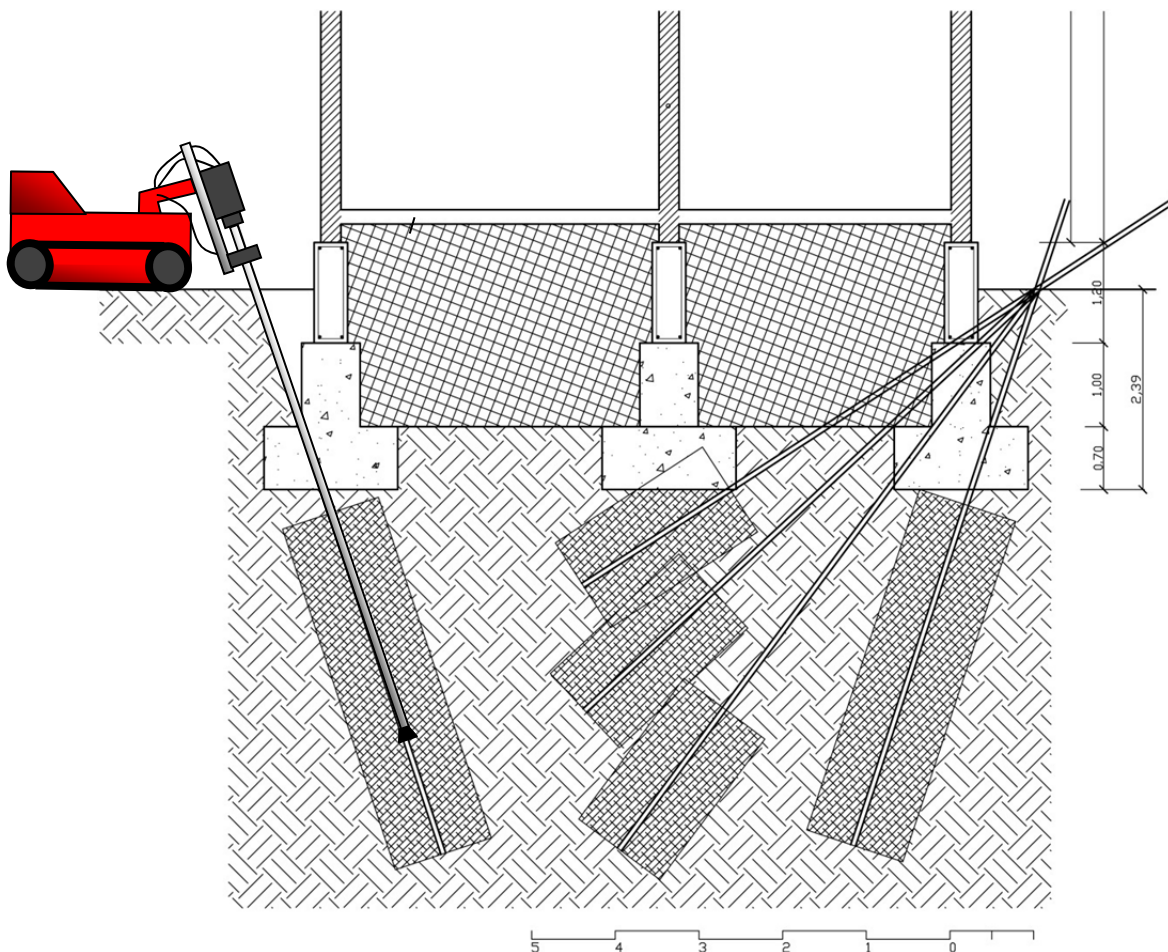
La perforación desde el exterior y con maquinaria de reducidas dimensiones permite que la intrusión en el edificio sea mínima y no sea necesario el desalojo de los usuarios.

### Aplicabilidad al caso de estudio

En la obra objeto de estudio, la aplicación de esta solución para la mejora del terreno subyacente hubiese sido de fácil aplicación. No siendo necesaria la ejecución de ninguna medida auxiliar para la realización del recalce en el interior del edificio, puesto que desde el exterior y con una geometría adecuada se puede llegar a actuar incluso bajo la cimentación del muro intermedio (Figura 8.54).



A través de las inyecciones y mediante la rotura hidráulica del terreno se conseguiría la mejora del terreno bajo las zapatas, en toda su longitud se realizaría perforaciones que permitiesen acceder al terreno. Esta rotura hidráulica y la creación de una red de vetas de lechada de cemento en el terreno, hubiese mejorado considerablemente las condiciones mecánicas. Algunos autores indican, en relación a experiencias previas, aumentos de la capacidad de carga del terreno en torno al 100% (Rodríguez-Mayorga, et al. 2013).



**Figura 8.54.** Detalle de la posible solución por inyecciones armadas en la obra.

Dadas las características aluviales del terreno y con elevado nivel freático, se necesitarían realizar perforaciones de alivio para evitar subpresiones. La aplicación de esta técnica supone el aumento de la presión intersticial del terreno, que se refleja en una emanación del agua contenida en el terreno.

La posibilidad de realizar la inyección de manera selectiva en los tubos dotados de válvulas antiretorno permitiría, controlando la variación en las presiones de inyección y la densidad de las lechadas, homogeneizar los estratos del terreno. Como se definió en capítulos previos, los cortes estratigráficos, la tomografía del terreno muestran la variación en los espesores de los estratos y la compactación variable bajo la cimentación. La técnica hubiese permitido

alcanzar un estrato de terreno con características homogéneas mejorado notablemente la interacción entre cimentación y terreno.

La aplicación de la técnica de inyección armada en el caso objeto de estudio hubiese presentado las siguientes ventajas y desventajas:

- La aplicación de esta técnica requiere un estudio pormenorizado del terreno y de sus características, dada la heterogeneidad de éste, es necesario realizar los cálculos necesarios y dimensionados de las inyecciones para cada punto de inyección, lo que conlleva un retraso en el inicio de los trabajos e incertidumbres por parte de los vecinos.
- Es un punto a favor el hecho de que las inyecciones se puedan realizar desde el exterior del edificio, no siendo necesario realizar demoliciones en el interior y minorando los plazos de ejecución.
- Conociendo a posteriori la problemática para la perforación de las zapatas aplicada a los micropilotajes, el hecho de que esta técnica no requiera intervenir sobre la cimentación de manera directa hubiera presentado ventajas.
- Basándonos en las experiencias descritas en varias publicaciones científicas, la solución hubiese sido económica (Da Casa et al. 2007).

### **8.2.3.- Inyecciones de resinas expansivas de poliuretano**

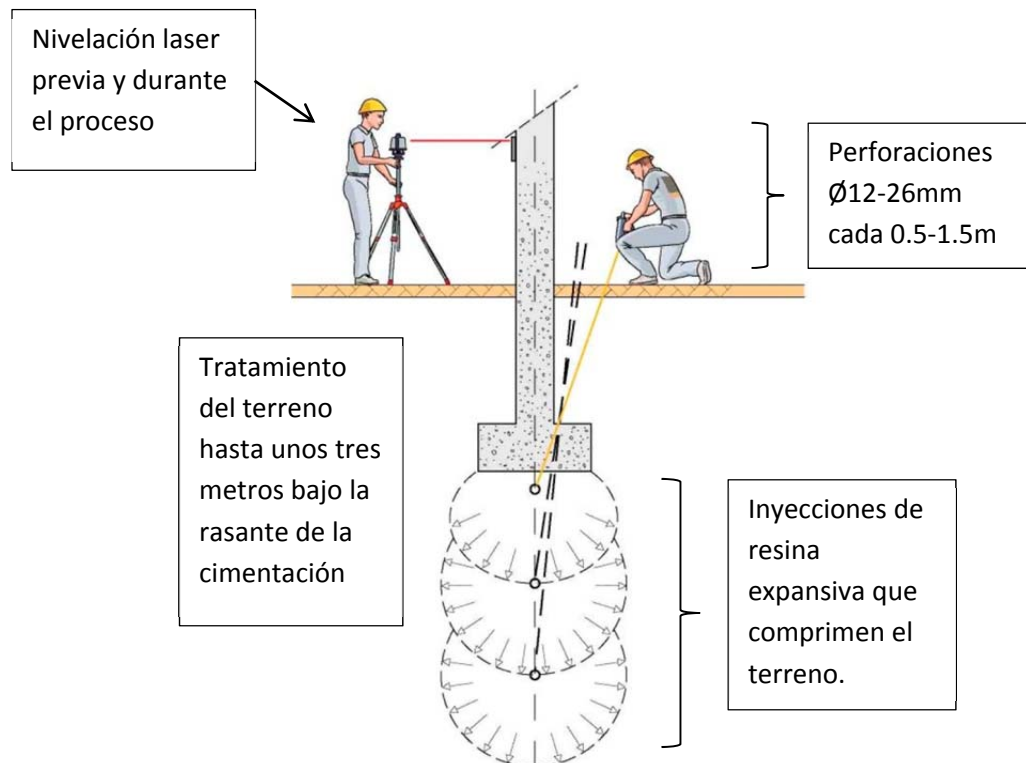
Este sistema de intervención comparte con el descrito en el apartado anterior el hecho de actuar exclusivamente sobre el terreno, su origen también se relaciona con el de las inyecciones de cemento, si bien en un punto del desarrollo técnico se decidió sustituir la inyección de un material como el cemento por el de otro más activo como el poliuretano.

Las aplicaciones de este sistema van más allá de los recalces, también se considera para la protección frente al sismo, las vibraciones de otro origen y los efectos de suelos expansivos.

Las inyecciones de esta técnica se realizan con un poliuretano compuesto por la mezcla de un isocianato y un polioliol en proporciones variables en función del tipo de poliuretano a obtener. Estos materiales al mezclarse generan una reacción exotérmica de polimerización que genera CO<sub>2</sub> y que queda ocluido en el interior de la masa generando células cerradas que se expanden hasta finalizar la reacción. Esta reacción no dura más de 6-10 minutos, alcanzándose en una hora una resistencia próxima a la total y en 24h la total (Erdemgil et al, 2007).

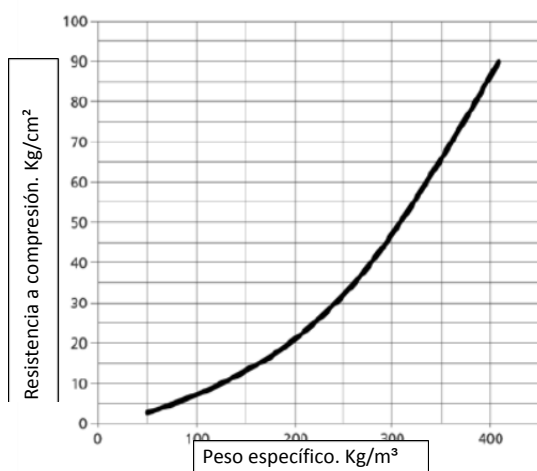
El sistema consiste en realizar una serie de perforaciones de escaso diámetro (hasta Ø26mm) bajo la cimentación (a distancias entre 0,5y 1,5m) y colocar varillas por las que realizar la inyección de la mezcla (Figura 8.55). Esta

inyección se realiza a baja o muy baja presión y en distintos puntos bajo la cimentación con la finalidad de realizar unas columnas de terreno mejorado tras la expansión de la resina.

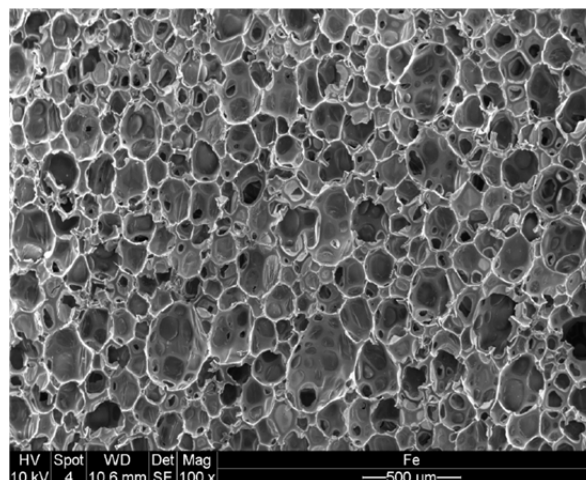


**Figura 8.55.** Esquema del sistema de inyecciones de poliuretano expansivo.

La expansión volumétrica de estas resinas en un entorno sin presión supera en 30 veces su volumen inicial, existen datos en investigaciones (Dei Svaldi, et al. 2005) realizadas a estos materiales en los que se establece que la posible resistencia a alcanzar está en relación a la densidad de la resina en su expansión, alcanzándose un rango de resistencia entre 0.20 y 10.00 MPa para densidades de 0.5-10.00 kN/m<sup>3</sup>. (Figura 8.56).



**Figura 9.56.** Grafica de la relación Resistencia –



**Figura 9.57.** Imagen de la resina.

peso específico.

Hay que indicar que en la técnica no se puede controlar la presión que se genera en el terreno puesto que depende de la expansividad de la resina, por ello se establece la necesidad de realizar una nivelación de control milimétrico que permita ir observando la evolución de las inyecciones y su efectividad, decidiéndose en caso necesario reinyecciones. La rápida reacción de la resina impide que esta se disperse más allá de unos 2 metros desde el punto de inyección, lo que permite focalizar las acciones a puntos concretos y evitar pérdidas innecesarias de material.

Tras la reacción de la resina y su aumento de volumen queda un poliuretano que no reacciona con los materiales que se pueden encontrar bajo una cimentación, aunque en ninguno de los estudios consultados se han podido encontrar referencias a la durabilidad de este material.

La técnica consiste en, tras haber realizado un estudio del terreno, establecer una referencia de nivelación en su estado inicial. Posteriormente realizar las perforaciones para la colocación de los tubos de inyección en los puntos y alturas a inyectar, después se realizan las inyecciones a la vez que se controla la nivelación y la efectividad de estas, ya sea de estabilización del terreno como incluso de recuperación de los asentamientos.

Por regla general estas soluciones suelen también calcularse y controlarse por medio de un software específico que permite prever las cantidades y dosificación de los materiales a utilizar en función de las características del terreno y de los objetivos a conseguir.

La inyección se realiza en dos fases, una primera de preconsolidación justo bajo el plano de apoyo de la cimentación y otra posterior en los puntos definidos. La técnica permite, tras la finalización de una, realizar otras inyecciones secuenciales en el mismo punto en caso de que con la primera inyección no se haya conseguido obtener los resultados deseados.

Estudios han mostrado que estas inyecciones secuenciales no son homogéneas, crean discontinuidades en el poliuretano y que los resultados de la resistencia adquirida están un 62% por debajo de los resultados obtenidos en los laboratorios (Buzzi, et al. 2008). Lo que dista bastante de los resultados obtenidos de los ensayos realizados en la Universidad de Padua bajo los criterios de la norma UNI 6350-68 "Materias plásticas celulares rígidas - Determinación de las características a la compresión" (UNI 6350-68. 1968).

Además se han realizado otros estudios (Foti, et al. 2009) en los que se concluye que la aplicación de esta técnica en terrenos de tipo aluvial y de grano fino no son excesivamente recomendables ya que se crean una serie de sobrepresiones, por ejemplo en los desplazamientos de las aguas intersticiales

que al reacomodarse o fluir a puntos de menor presión estática, pueden producir ligeros asientos diferidos.

En cualquier caso debido a la multitud de casos en los que se ha aplicado la técnica, se ha demostrado empíricamente la efectividad de la aplicación de este tipo de técnica en la consolidación e incluso recuperación de asentamientos en edificaciones domésticas y edificios patrimoniales.

### **Aplicabilidad al caso de estudio**

La aplicabilidad de esta solución a la obra para la resolución del asentamiento hubiese requerido realizar trabajos auxiliares de excavación puesto que las perforaciones necesarias se realizan con taladros manuales hasta una profundidad máxima de 3 metros bajo la rasante de la cimentación. (Figura 8.58).

Los elevados rendimientos de esta técnica para un recalce normal y que se referencian en 8 metros de cimentación por jornada, hubiesen arrojado una necesidad de 43 jornadas para el recalce de los 340 metros de cimentación.

En cualquier caso, como en las soluciones descritas previamente habría que valorar los siguientes factores:

- Existen referencias bibliográficas que indican que la solución no es adecuada para el tipo de terreno sobre el que se asienta el edificio (Foti, et al. 2009).
- Tienen como ventaja el elevado rendimiento y el escaso consumo de material para la realización del recalce.
- Hubiera que haber realizado grandes movimientos de tierra en el interior del edificio para acceder a las zapatas intermedias lo que invalidaría los buenos rendimientos de la aplicación.
- Hay que tener muy en cuenta, como factor negativo, que la aplicación de esta técnica se basa en la compresión del terreno para su efectividad, no puede olvidarse que las obras debían ejecutarse en paralelo a la consolidación de un muro pantalla desplazado y sobre un terreno descomprimido. Estas condiciones de riesgo estructural y los movimientos asociados a su consolidación podrían haber afectado a la compresión del terreno tratado, disminuyéndola y poniendo en entredicho la efectividad de las medidas.

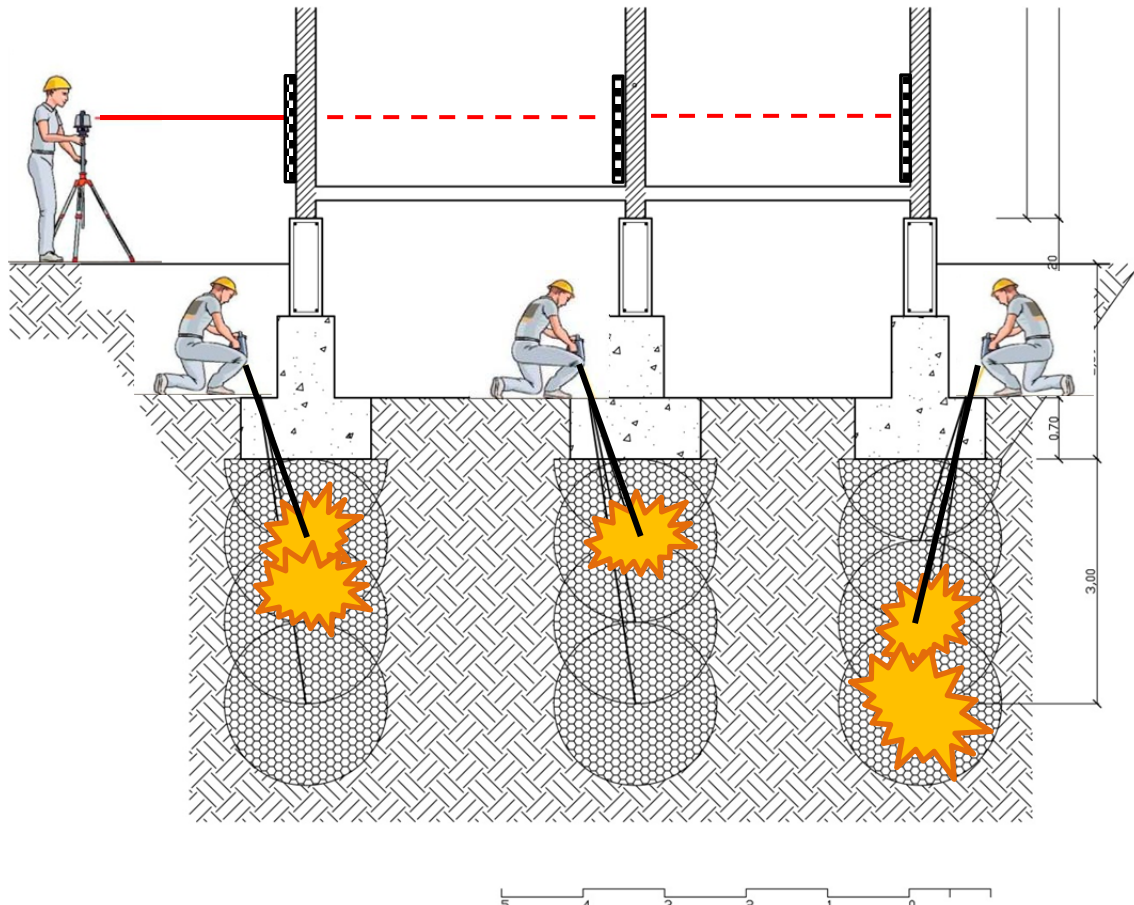


Figura 8.58. Esquema de la aplicación de inyecciones de resina expansiva en la obra

### 8.3. Análisis comparado entre la solución adoptada y las alternativas disponibles

Descritas las alternativas analizadas para la realización del recalce del edificio, se hace necesario compararlas con la solución ejecutada.

#### 8.3.1.- Técnicas tradicionales frente a micropilotaje

Las principales ventajas son la escasa complejidad técnica de las diversas soluciones disponibles y que permite tanto utilizar personal como materiales no especializados. Esto repercute en la posibilidad de prever los costes utilizando bases de precios disponibles así como planificar las obras en base a rendimientos medios conocidos.

Por el contrario se presentan inconvenientes como el bajo rendimiento de los trabajos dada la elevada carga de mano de obra que conllevan largos plazos de ejecución. Las condiciones de los trabajadores en relación a la seguridad y salud son más comprometidas debido a la necesidad de trabajar en espacios confinados y con estructuras dañadas en carga, a lo que hay que sumar grandes movimientos de tierra en el interior de la edificación. La funcionalidad de estas técnicas se basa en la correcta interacción entre la cimentación existente y el recalce a realizar. En este caso concreto, según los datos



geotécnicos era necesario profundizar la cimentación hasta 25 m por debajo de la rasante, lo cual imposibilita la aplicación de esta técnica.

### **8.3.2.- Inyecciones armadas frente al micropilotaje**

Puesto que esta técnica actúa exclusivamente sobre el terreno, mejorando una o varias de sus características, no es necesario intervenir en las cimentaciones existentes. Como ventaja complementaria, los trabajos del recalce se hubiesen podido realizar desde el exterior de la edificación, no siendo necesarios movimientos de tierras o demoliciones auxiliares para su ejecución. Así mismo, existen metodologías (Da Casa et al. 2007) que permiten calcular los consumos y tipos de inyecciones necesarias, convirtiéndola en una solución que minimiza las incertidumbres económicas y técnicas de los recalces.

Opuestamente, la solución presenta como principal inconveniente, la necesidad de realizar estudios previos pormenorizados de las características geotécnicas del terreno. Ello implica contar con un tiempo previo a la intervención dedicado a calcular y definir la solución a adoptar, esto en condiciones de emergencia se presenta como un inconveniente ya que la prioridad debe ser devolver la seguridad estructural a la cimentación. De igual modo, solo se aplicaría la inyección a un estrato inferior a la cimentación, terreno de malas características portantes y que no se vería mejorado en todo su espesor. Se confiere la seguridad de la solución a las mejoras resultantes de la aplicación de la técnica en el terreno, no a una transmisión directa de las cargas.

### **8.3.3.- Inyecciones de resinas de poliuretano frente al micropilotaje**

Las inyecciones de resinas de poliuretano son técnicas relativamente recientes y que, igual que las inyecciones armadas, actúan sobre el terreno, mejorando las características de este. Por ello y puesto que se realiza desde el exterior de la edificación, es una técnica no invasiva que requiere escasos trabajos auxiliares y que incluso permite la recuperación de pequeños movimientos.

Los principales inconvenientes de esta técnica radican en varios aspectos, en primer lugar el terreno en el que se asienta la edificación, de carácter limoso aluvial no es el más idóneo para esta solución que se potencia en terrenos granulares. La cota sobre la que se asienta el edificio, a dos metros bajo la rasante, hubiese requerido realizar vaciados considerables para poder inyectar bajo la zapata. En ningún caso, se puede controlar la presión de expansión de las inyecciones, ello conlleva que en terrenos con estratificación heterogénea y con la presencia de grandes oquedades se puedan producir defectos relacionados con sobrepresiones puntuales o dispersión de materiales. Como principal inconveniente está la necesidad de aplicar esta técnica en un terreno afectado exclusivamente de asiento vertical y no horizontal, como es el caso de estudio. Así mismo, la necesidad de que el terreno permita su compresión es



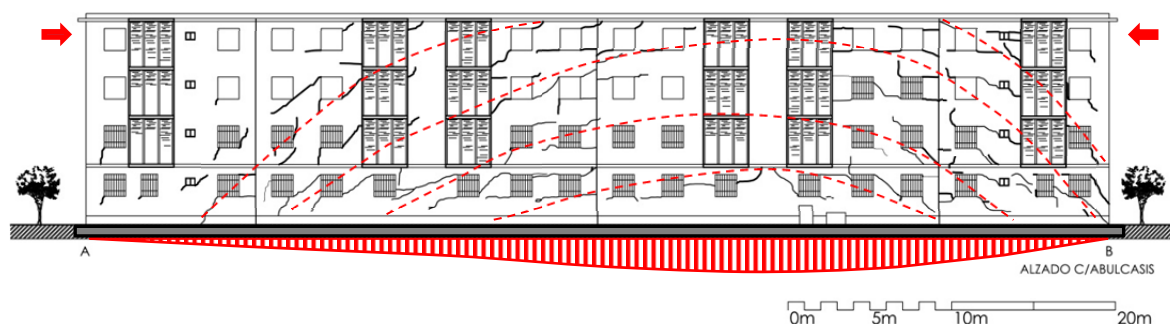
inviabile, puesto que el recalce hay que realizarlo en una estado de descompresión dado el desplazamiento del muro pantalla y su estado de acodalamiento provisional durante la ejecución de la obras.

## 9.- ESTRUCTURA Y FÁBRICAS DE LADRILLO

Al finalizar los trabajos de recalce del edificio y anulada la posibilidad de movimiento de la cimentación, se iniciaron los trabajos de reparación de la estructura vertical. Como se indicó previamente, el edificio consta de dos cruías en toda su longitud. La estructura vertical se compone de muros de fábrica de ladrillo macizo en las plantas baja y primera, y de una fábrica verdugada de ladrillos huecos y macizos. Exteriormente se encuentra enfoscada y carece de cámara o trasdosado por el interior, los forjados son de tipo autárquicos y ejecutados in situ con piezas cerámicas.

Las estructuras de fábrica de ladrillo son muy sensibles a los movimientos de las cimentaciones en las que se apoyan. Estas estructuras se caracterizan por su carácter isostático y su resistencia a los esfuerzos de compresión. De manera análoga estas estructuras también presentan una escasa resistencia a la tracción que conlleva, en casos de asentamientos diferenciales, la aparición de lesiones en forma de grietas y fisuras asociadas a los movimientos de la cimentación.

La geometría de las lesiones está en relación con la distorsión angular de los elementos que componen la fábrica de ladrillo y su magnitud en función de la amplitud. La geometría de las lesiones suele mostrar la descarga de las tensiones de tracción en forma de arcos en la fábrica de ladrillo, adaptándose a la nueva posición de menor tensión de trabajo.



**Figura 9.1.** Esquema simplificado de asentamiento diferencial en la edificación y arcos de descarga

En el caso de estudio, como se ha indicado en el apartado anterior, fue necesario reparar tanto las fábricas estructurales como las divisiones interiores del edificio. La seguridad estructural de los muros de carga estaba en cuestión puesto que el asiento había producido daños de categoría 3 o 4 (moderados o graves) en la escala de Burland (Burland, et al. 1977) y que requerían la reparación en las fábricas (Tabla 9.1).

Categoría de los daños	Grado de importancia	Descripción de los daños típicos (Subrayado la facilidad de reparación) Nota: La anchura es sólo un indicador para evaluar la categoría de los daños y no debería usarse como una medida del mismo
0	Insignificante	Fisuras inferiores a 0,1 mm
1	Muy leve	<u>Fisuras finas que pueden tratarse fácilmente con trabajos decorativos.</u> El daño normalmente se limita al acabado interior del paramento. Una inspección exhaustiva puede revelar algunas fisuras en la fábrica exterior. La anchura de las fisuras puede llegar hasta 1 mm aproximadamente.
2	Leve	<u>Las fisuras pueden rellenarse con facilidad. Probablemente requiere re-decoración.</u> Las fisuras recurrentes pueden ser <u>ocultadas con vendas adecuadas.</u> Las fisuras pueden ser visibles desde el exterior, <u>y quizás sea preciso sellarlas o pintarlas para evitar entrada de humedad.</u> Ligero desajuste de las puertas y ventanas. La anchura de las fisuras puede alcanzar hasta 5 mm.
3	Moderado	<u>Es necesario picar las fisuras y parchearlas. Hay que reparar la fábrica exterior y posiblemente parte de ella debe ser reemplazada.</u> Las puertas y ventanas se desajustan. Pueden romperse algunas tuberías y bajantes. Empeora la resistencia del edificio frente a los agentes atmosféricos. La anchura típica de fisuras va de 5 a 15 mm, o familias de fisuras cercanas de más de 3 mm.
4	Grave	<u>Trabajos extensos de reparación con eliminación y reposición parcial de paramentos, especialmente sobre puertas y ventanas.</u> Descuadre de los bastidores de puertas y ventanas. Se aprecia inclinación en el suelo ( $>1/100$ ). Las paredes se inclinan o abomban apreciablemente ( $>1/100$ ). Algunas vigas se descuelgan. Las tuberías quedan fuera de servicio. La anchura típica de las fisuras va de 15 a 25 mm, aunque este valor depende también del número de fisuras.
5	Muy Grave	<u>Se requiere una gran reparación con reconstrucción total o parcial.</u> Las vigas se descuelgan y los muros se inclinan, siendo preciso el apuntalamiento. Las ventanas se rompen por distorsión. Peligro de inestabilidad. Las grietas pueden ser de más de 25 mm, según su número.

**Tabla 9.1.** Escala Burland de daños. (Burland, et al. 1977)

### 9.1.- Solución adoptada

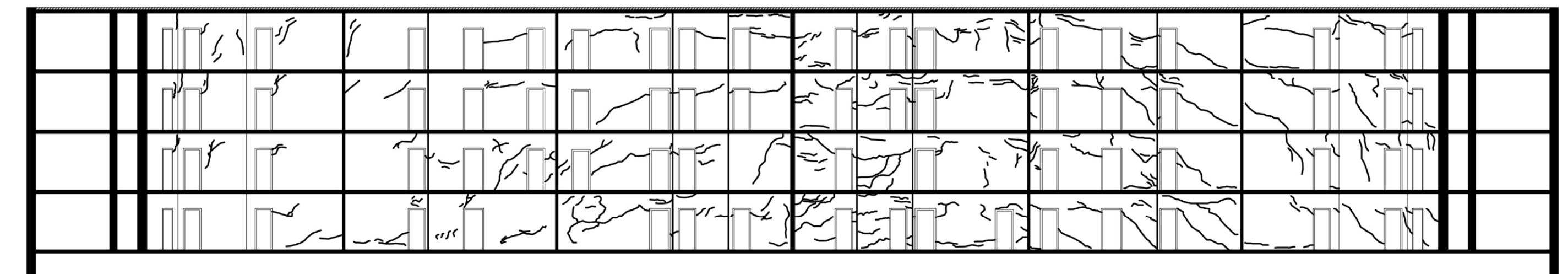
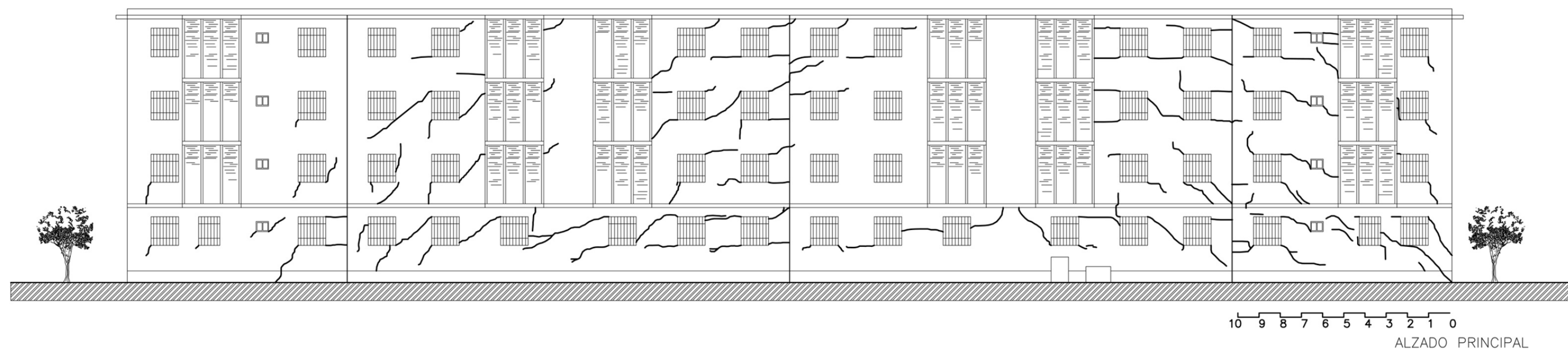
En el caso objeto de la investigación, el asentamiento diferencial produjo una serie de arcos de descarga tal y como se muestra en la Figura 9.1. La magnitud de estas lesiones decrece desde el punto de mayor asentamiento tanto en la longitud como en la altura del edificio (Figura 9.2).

Tradicionalmente las lesiones, asociadas a movimientos, en las fábricas de ladrillo se han clasificado en:

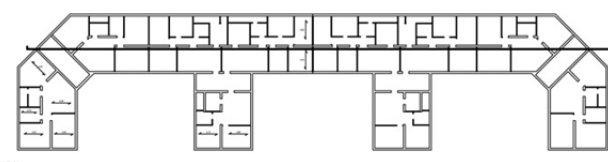
- grietas: de escaso calado, no tienen afección estructural ni afectan al espesor total de la fábrica.
- fisuras: de mayor calado que las anteriores, presentan separación y afectan al espesor total de la fábrica.

El principal problema que presentan las lesiones en las estructuras de fábrica de ladrillo es que, tanto la aparición de grietas como de fisuras, producen pérdidas en la homogeneidad de la estructura. Esto afecta a la correcta transmisión de las cargas y evita que la estructura trabaje de una manera homogénea, creándose puntos con sobre esfuerzos que ponen en riesgo la estabilidad estructural de la fábrica.

Hay que indicar que se barajó la posibilidad de realizar la reparación de las fracturas por medio de la colocación de grapas metálicas en la fábrica de ladrillo. Esta opción de descarto desde un primer momento debido al convencimiento de que dichos elementos no devuelven la homogeneidad a los paramentos en que se colocan. Así mismo, las colocadas en exteriores pueden verse afectadas por los agentes climáticos, generando patologías secundarias o afectando a la imagen original del edificio.



SECCIÓN MURO CARGA CENTRAL



**Figura 9.2.** Grietas y fisuras en alzado principal y muro central. Fuente: Vicerrectorado de Infraestructuras. Universidad de Sevilla.

Para la reparación de la estructura de fábrica del edificio se planteó una metodología concreta para resolver la aparición de grietas y fisuras. Identificadas las lesiones y su magnitud se plantearon cuatro distintos tratamientos a aplicar en cada una de ellas. Tras la identificación se pudieron corresponder con la Escala de Burland (Tabla 9.1) (Burland, et al. 1977) y se indicó qué solución aplicar a cada grieta o fisura presente en la fábrica. (Figura 9.2)

#### Fisuras superficiales Tipo 1 (Categoría 1, Importancia: Muy leve)

Se trata de fisuras de menor calado, cuya aparición genera una lesión de tipo estético. Su reparación se planteó como:

- repaso con enlucido en paredes y techos
- enlechados en suelos
- pintura impermeabilizante en cubiertas

#### Fisuras profundas Tipo 2 (Categoría 2, Importancia: leve)

Fundamentalmente, son fisuras de mayor calado a las anteriores, pero sin afección estructural; pasando de ser sólo una lesión estética a una lesión que pudiera afectar al confort y habitabilidad de la vivienda. Por tanto, será necesaria una reparación, bien de sustitución de elementos, o bien de la disposición de vendas elásticas previas al enfoscado. Sus reparaciones, por tanto, se plantearon como:

- saneado y enlucido con velo de fibra en paredes y techos
- levantado y sustitución de pavimento en suelos

#### Grietas superficiales Tipo 1 (Categoría 3, Importancia: moderada)

Se trata de aquellas fisuras detectadas en el levantamiento de patologías realizado, que por tener un espesor entre sus labios, mayor a las fisuras, pasan a denominarse grietas. No obstante, su reparación fue como las del caso anterior.

- resanado de la superficie y enlucido con velo de fibra en paredes
- levantado y sustitución de pavimento en suelos

#### Grietas profundas Tipo 2 (Categoría 4, Importancia: grave)

Son las grietas de mayor calibre localizadas en el edificio. Estas se encuentran tanto en tabiquerías, como muros y forjados. En el caso de los muros; aquellos que presentan este tipo de grietas, muestran afección estructural, por lo que fueron las primeras lesiones a reparar una vez concluidos los trabajos de micropilotaje en cada bloque. La reparación se planteó según lo siguiente:

##### Tabiquerías.

- demolición de la fábrica y reconstrucción parcial o total del tabique según los casos.

- el procedimiento descrito también se aplica a grupos de grietas de cualquier tipo.

#### Muros de carga.

- demolición completa de la zona del muro afectada por la grieta en grupos de seis a ocho hiladas, con los bordes acabados en adarajas y reconstrucción de la parte demolida con ladrillo macizo trabado a la fábrica existente. Repetición del proceso hasta reparar toda la grieta.

Con esta metodología se quiso devolver la homogeneidad al conjunto de la fábrica de ladrillo, de modo que volviese a trabajar como un único elemento cohesionado y permitiese volver a transmitir las cargas verticales a la cimentación recalzada.

Hay que destacar que, en la reparación de los muros, se optó por la reconstrucción de las grietas mediante la demolición de hiladas fracturadas y la ejecución de nuevas que cosieran la fábrica. Ello conllevó la búsqueda de un sustituto ya que en la actualidad no existen en el mercado ladrillos de características ni dimensiones similares a los usados originalmente. Se seleccionó un tipo de ladrillo tosco y macizo que permitiera ejecutar un aparejo compatible con el existente (Figura 9.4).



**Figura 9.3.** Identificación de las lesiones y selección de la solución a aplicar.



**Figura 9.4.** Ladrillo tosco seleccionado.



**Figura 9.5.** Inicio de la reparación de una grieta



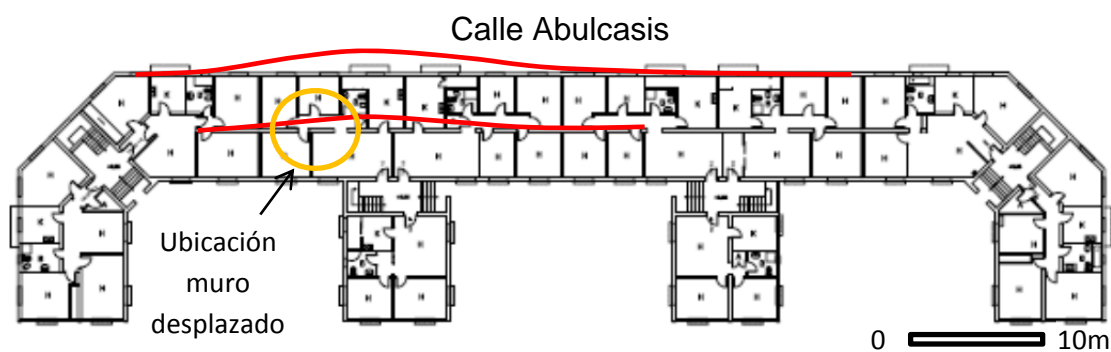
**Figura 9.6.** Grieta reparada.



A pesar de que la fábrica se encontraba fracturada, muchas zonas se mantenían con carga, por ello se decidió realizar la reparación en dos mitades de su grosor. Primero demoliendo y reparando la mitad exterior, para luego realizar la interior. (Figura 9.5 y 9.6). Finalmente se procedía a realizar el revestimiento mediante enfoscado de mortero, tanto en el caso de grietas como en el de fisuras, devolviéndose a su estado original.

Las lesiones en fábricas de ladrillos antiguas, pueden generar multitud de circunstancias particulares que deben ser estudiadas individualmente para aplicar una solución correcta. Así, en el caso objeto de la investigación, hubo que aplicar distintas modificaciones a la metodología definida para adaptarse a los daños de ciertas zonas en las que no era posible aplicarlas o en las que los daños eran tan severos que requerían una demolición y nueva ejecución. Como ejemplo en la zona más afectada, el muro central sufrió de un descuelgue y desplazamiento puntual debido a la combinación de movimientos descendente y horizontal, (Figura 9.7).

La reparación de dicho muro que se encontraba en buen estado salvo por su desplazamiento, necesitó de un apeo puntual provisional de su entorno, la eliminación de las hiladas superiores, la realización del aplomado del muro y el recalce de las hiladas con ladrillos nuevos y mortero sin retracción. De las Figuras 9.9 a 9.12, se puede observar el proceso de reparación de este tramo de muro, desde su estado antes del inicio hasta su estado final.



**Figura 9.7.** Esquema de la deformada de los muros de carga



**Figura 9.8.** Imagen del muro central fracturado y desplazo en dirección a la calle Abulcasis, obsérvese el desplazamiento en el alicatado respecto de la posición original y la rotura del falso techo.



**Figura 9.9.** Estado inicial



**Figura 9.10.** Eliminación de las hiladas de apoyo y apeo.



**Figura 9.11.** Aplomado del tramo de muro.



**Figura 9.12.** Reconstrucción de las hiladas con mortero sin retracción.



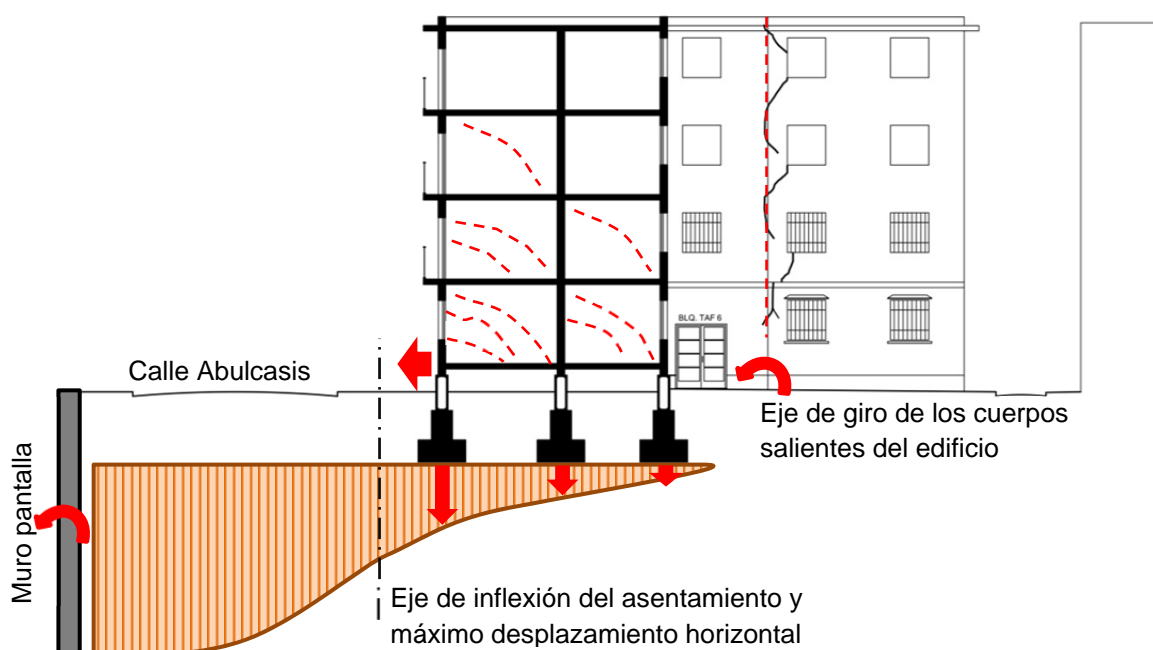
**Figura 9.13.** Reparación de muro central



**Figura 9.14.** Reparación de muro de fachada desde el interior.

Algunas zonas, principalmente zonas de mochetas, quedaron tan afectadas que debido a la geometría de la fractura no fue posible realizar el cosido de grietas mediante nuevas hiladas. En dichos apunto se tuvo que optar por la demolición parcial y la reconstrucción de esas zonas, (Figuras 9.13 y 9.14).

La tabiquería transversal también se vio afectada por el movimiento de la cimentación. La zona más afectada fue la planta baja, en la que se produjo un mayor nivel de daños debido a la diferencia de asiento entre los distintos muros. Los daños de estas tabiquerías variaron desde fisuras de escasa entidad en las zonas más alejadas del punto de máximo asentamiento hasta grietas de gran entidad con pérdida de parte de sus elementos, (Figuras 9.15 y 9.16).



**Figura 9.15.** Esquema de asentamiento por sección.



**Figura 9.15.-** Imagen del estado de tabiquerías



**Figura 9.16.-** Imagen del estado de tabiquerías



**Figura 9.17.-** Refuerzos transversales provisionales



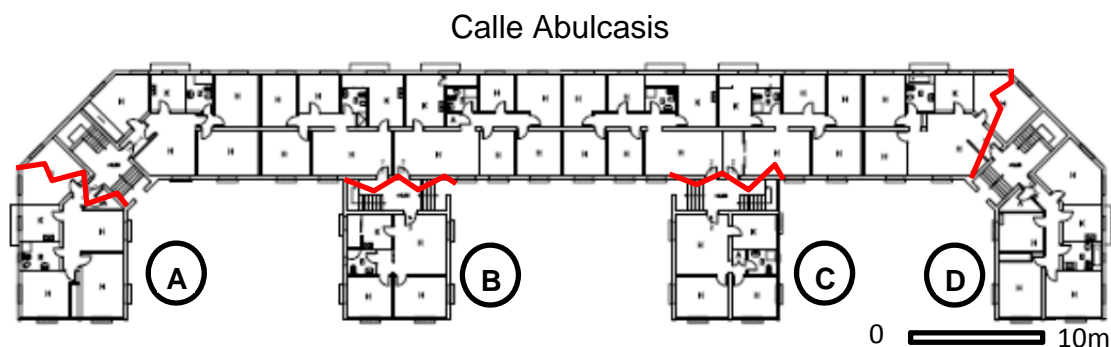
**Figura 9.18.-** Tabiquería de nueva ejecución.

Debido a la necesidad de maquinaria para el recalce desde el interior, se eliminaron todas las tabiquerías transversales interiores de la planta baja. Tras la realización del recalce, se reconstruyeron con materiales nuevos en la misma ubicación que los tabiques demolidos, (Figura 9.18).

Para asegurar el proceso de recalce y puesto que el edificio había sufrido un movimiento, se decidió colocar un arriostramiento transversal a las crujías en planta baja. Este se compuso de cruces de San Andrés enmarcadas con sopandas de madera y colocadas a una distancia de 4-5 metros (Figura 9.17). La finalidad de este sistema consistía en evitar que, tras eliminar medianeras y tabiquerías en planta baja, se redujese la resistencia transversal del edificio al quedar sustentado por dos crujías muy largas y sin arriostramiento transversal. A medida que, tras el recalce, se fueron ejecutando las medianeras y las tabiquerías interiores, el arriostramiento se fue desmontando y retirando.

Un hecho relevante en el comportamiento tras el asentamiento del edificio fue el movimiento de vuelco del mismo y que no fue seguido por los cuerpos A,B,C y D. Este hecho abre una puerta a la discusión acerca de si dicho edificio ha sufrido en su vida útil asientos de fluencia lenta. (Figura 9.19).





**Figura 9.19.** Esquema de la fractura de los cuerpos salientes A, B,C y D.

El movimiento provocó una grieta en la totalidad de los cuerpos que aumentaba desde la parte inferior a la superior, mostrando los signos de un claro vuelco en sentido de la zona de asentamiento (Figuras 9.20 y 9.21). La reparación de estas fracturas se realizó tras el recalce de la cimentación, la solución adoptada fue el cosido de las grietas con fábrica similar a la existente, si bien, dado que el movimiento entre volúmenes mostrada una clara tracción del cuerpo principal frente a los demás, la dirección de obra decidió incorporar al cosido una serie de barras de acero corrugado que arriostraran los volúmenes.

Se replantearon (Figura 9.23) y sanearon las grietas de manera que se pudiese coser la lesión, para finalmente abrir las adarajas y proceder a ejecutar las nuevas hiladas en la fractura. (Figura 9.22).



**Figura 9.20.-** Grieta en cuerpo A



**Figura 9.21.-** Grieta en cuerpo D



**Figura 9.22.-** Detalle del estado interior



**Figura 9.23.-** Detalle del replanteo exterior



**Figura 9.24.-** Detalle de los trabajos de reconstrucción.



**Figura 9.25.-** Detalle de los trabajos de reconstrucción.



**Figura 9.26.-** Detalle de reparación exterior.



**Figura 9.27.-** Detalle de reparación interior.

Como se ha mencionado previamente, las fisuras o lesiones de menor entidad en los muros o la tabiquería y que no suponían un riesgo al elemento se repararon mediante la aplicación de vendas para posteriormente reparar el revestimiento. Puesto que en estos casos la fisura de los paramentos no comprometía su integridad, la edificación estaba estabilizada y sólo afectaba a su estética, se optó por devolver la continuidad a los revestimientos. Para ello se introdujo una malla de fibra de vidrio que reforzase la zona en cuestión. (Figuras 9.26.y 9.27).

La reparación de las fábricas de ladrillo se realizó de manera organizada, avanzando el frente de trabajo según avanzaba el recalce del edificio. Así, al

terminar el recalce de cada uno de los cuatro bloques en que se divide, se aplicó la siguiente metodología de trabajo.

- Fin de recalce y comprobación de la ausencia de movimientos en el bloque.
- Limpieza y retirada de residuos de los trabajos de recalce.
- Cierre de las medianeras del bloque en planta baja.
- Inspección de valoración de las lesiones en el bloque, decisión y definición de las soluciones a adoptar en cada una de ellas.
- Reparación de grietas en los muros mediante el cosido con hiladas de ladrillo.
- Ejecución de las tabiquerías de planta baja.
- Reparación de las fisuras en las plantas superiores.

La aplicación de este sistema de trabajo permitió ejecutar las obras con una sistematización y organización que cumplió los objetivos propuestos en la planificación.

Las obras de rehabilitación conllevan una gran cantidad de incertidumbres, tanto materiales como de sistemas constructivos a aplicar, previas a la ejecución de las obras. Muchas de ellas pueden verse resueltas con las inspecciones previas aunque en esta fase no se definen sistemas de organización de obra y se limitan a la caracterización de materiales y patologías. Esto implica que no se pueda establecer una metodología de trabajo y una correcta organización de la obra que permita definir los plazos y así verificar el cumplimiento de los objetivos temporales de finalización de las obras.

Del estudio de caso objeto de esta investigación se puede comprobar que el estudio pormenorizado de la totalidad de la edificación, sus sistemas constructivos y características materiales, más la definición en este estado previo de un proceso de trabajo y organización de las obras, permite la consecución de los objetivos propuestos.

## **9.2.- Soluciones disponibles para la reparación de fábricas de ladrillo**

Esta problemática ha estado presente en la edificación desde hace siglos, principalmente en la patrimonial debido al interés de conservación, y tradicionalmente se ha solventado con la inclusión de elementos metálicos denominados coloquialmente “grapas” o prótesis en forma de tirantes, con la finalidad de evitar movimientos de tracción en las fábricas. Como cualquier solución constructiva, el desarrollo de las técnicas y la aparición de nuevos materiales ha contribuido a la aparición de nuevas soluciones disponibles en el



mercado que pueden resolver los daños en fábricas de ladrillo y adaptarse a las circunstancias concretas de cada necesidad.

Las posibles técnicas a ejecutar en la obra se pueden concretar en la siguiente clasificación:

- Reparación con técnicas tradicionales  
Entendiendo esta como la colocación de un grapado o cosido metálico en las fábricas destinado a evitar movimientos de tracción.
- Reparación de la fábrica con inyecciones de lechada  
Esta solución se basa en la inyección de lechadas de cemento u otro material aglomerante en las fábricas a fin de devolverles la homogeneidad perdida por la aparición de grietas y fisuras.
- Reparación con bandas de fibras de polímeros reforzados (FRP)  
Se pretendería con ello solidarizar de nuevo la fábrica de ladrillo por medios de bandas adheridas a la fábrica de ladrillo y muy resistentes a las tracciones.

A continuación se describirán pormenorizadamente las características de cada una de ellas y se analizarán las ventajas e inconvenientes en la aplicación al edificio objeto del estudio.

### **9.2.1.- Grapado o cosido de grietas**

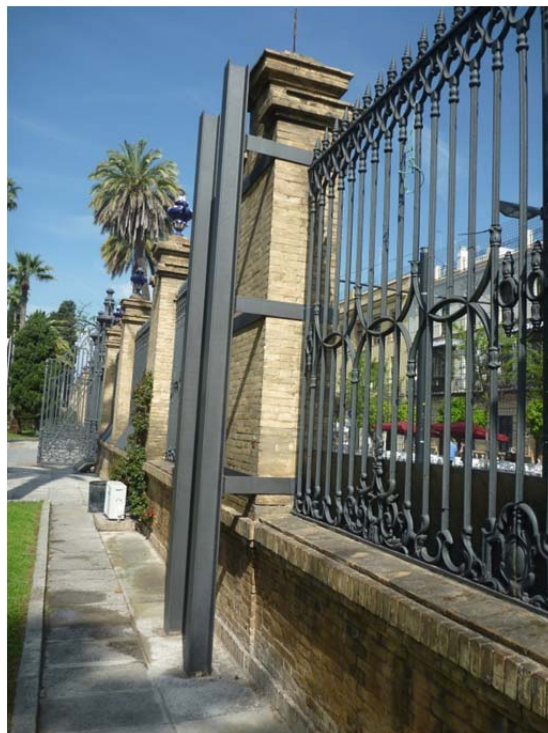
En este grupo se engloban las técnicas que tradicionalmente se han aplicado en las fábricas de ladrillo o cantería para la resolución de problemas de tracción debido a movimientos o asentos de la cimentación, el grapado o cosido metálico.

Los elementos de fijación utilizados en esta técnica suelen ser metálicos por sus buenas características de resistencia a esfuerzos de tracción y la maleabilidad de este tipo de material. En la aplicación sobre elementos de fábrica, ya sean de ladrillo o cantería, se pueden dividir en dos grupos:

- Cosido con grapas: Cuando se realizan mediante varillas o piezas metálicas destinadas a coser las dos partes de la fábrica mediante su introducción en perforaciones realizadas previamente al efecto (Figura 9.28).
- Prótesis o collarines metálicos: Si se disponen como elementos auxiliares que soporten o rigidicen las fábricas dañadas. Este caso suele ser muy aplicado en soportes, pilares o columnas de fábrica por la adaptabilidad a la forma del elemento y su facilidad de montaje (Figura 9.29)



**Figura 9.28.** Acceso al Patio del Palacio de Wawel en Cracovia, Polonia.



**Figura 9.29.** Cerramiento Real Fábrica de Tabacos. Rectorado Universidad de Sevilla.

### **Aplicabilidad al caso de estudio.**

La aplicación de técnicas tradicionales hubiera quedado limitada al uso de grapas puesto que no existió ningún pilar o elemento de fábrica susceptible de ser reforzado mediante prótesis. La colocación de grapas en la fábrica de ladrillo es una solución apta para las fábricas estructurales, no así en las divisorias cuyas piezas huecas carecen de la resistencia necesaria para absorber posibles esfuerzos posteriores a su colocación.

Esto lleva inicialmente a tener que valorar la dificultad de aplicar esta solución en las plantas 2º y 3º del edificio puesto que, como se indicó en la descripción, se componen de fábricas verdegadas de ladrillos huecos y macizos. Esta técnica, propia de la primera mitad del S.XX, estaba destinada a reducir las cargas propias de las fábricas estructurales en sus tramos superiores. Según se aprecia en la Figura 9.2 alrededor del 40% del total de las grietas y fisuras del edificio se encontraban en esas plantas por lo que la reparación y refuerzo de las fábricas era ineludible para devolver la capacidad portante de la estructura.

La presencia de estos ladrillos huecos imposibilitaba que el grapado se hiciera sobre ellos, por lo que hubiese sido necesario combinar esta técnica con otras complementarias para intervenir sobre la totalidad de los muros.

Otro factor a tener en cuenta es el material de las grapas, tradicionalmente se han utilizado grapas de hierro forjado si bien, hoy en día, es más común utilizar

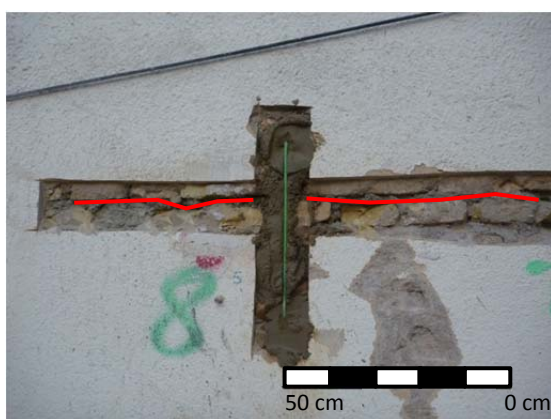
barras de acero corrugado de pequeño diámetro doblado. La principal problemática que se presenta es la oxidación, para evitarla se pintan las piezas con inhibidores de corrosión o, en casos muy concretos, se opta por utilizar grapas de acero inoxidable que, a su vez, son desaconsejables para obras de gran entidad dado el elevado coste de este material y la escasa adherencia entre el acabado del acero inoxidable y otros revestimientos.

No existe ninguna normativa específica para la aplicación de esta técnica y que, como en muchas de las soluciones propias de la rehabilitación, se basa en la tradición y experiencia previa del especialista o del técnico proyectista/director.

La metodología de actuación para la aplicación esta técnica es:

1. Identificación de los tramos o partes de las grietas o fisuras a coser.
2. Saneado del tramo mediante el picado del revestimiento del muro, en este caso, el enfoscado de la cara exterior y los guarnecidos o alicatados de la cara interior.
3. Perforación de los taladros en la fábrica.
4. Limpieza de los taladros para retirar el polvo de la perforación e inyección de resina epoxi para garantizar la adherencia.
5. Colocación de las grapas para el cosido de la fábrica.
6. Colocación de los revestimientos del muro, ya sean enfoscado, guarnecido o alicatado.

La colocación de las grapas varía en función de la geometría de las grietas, siendo siempre perpendicular a estas (Figura 9.30) por lo que se pueden diferenciar posiciones: horizontales en los tramos de grietas verticales, verticales si la grieta es horizontal y oblicuas si, a su vez, la grieta es oblicua.



**Figura 9.30.** Vista frontal de grapa vertical (Vivienda Sevilla)



**Figura 9.31.** Vista oblicua de grapa (Vivienda en Sevilla)

La separación entre las grapas depende de dos factores, la longitud de la grieta a reparar y los posibles esfuerzos a absorber. Normalmente se colocan a una

distancia entre ellas de 300 a 500mm, buscando siempre puntos sanos y resistentes de las piezas de la fábrica, nunca en los tendeles o llagas.

La amplitud o ancho de la grapa varía en función de la geometría de la rotura, del estado de daños y calidad de la fábrica. Así en fábricas de escasa calidad y con daños severos se deben colocar grapas de un ancho suficiente para que las posibles tensiones (producidas por movimientos residuales o la propia dilatación diferencial de materiales) en los puntos de agarre de las grapas no se encuentren en zonas debilitadas de la fábrica por la presencia de la grieta. Por el contrario, en fábricas de más calidad, con un buen aparejo o pétreas, el ancho de la grapa puede ser menor uniendo piezas contiguas a la grieta.

Como cualquier solución constructiva, esta tiene una serie de ventajas e inconvenientes en la aplicación al edificio objeto de esta investigación y que se pueden resumir en:

- La principal ventaja es la sencillez de la solución y la nula necesidad de materiales o personal especializados, lo que supone un bajo coste económico de la solución.
- Con un rendimiento alto y fácil de determinar, que permitiría programar la actividad con exactitud e implantarlo en la planificación general de la obra.
- La desventaja principal supone la dificultad de aplicar esta solución a las fábricas de las dos plantas superiores debido a sus características, una fábrica verdugada de piezas huecas y de escasa calidad.
- La solución presenta la posibilidad de que se produzcan oxidaciones en las piezas colocadas en el exterior. La oxidación y el consiguiente aumento de volumen, pueden producir desprendimientos de los revestimientos exteriores o interiores.
- La posibilidad de utilizar grapas de acero inoxidable hubiese encarecido la solución a la vez que presentaría problemas de adherencia en los revestimientos sobre las grapas.

En general se puede considerar que es una solución sencilla y de bajo coste, que ha sido utilizada tradicionalmente, pero que presenta serios inconvenientes generales y de aplicación al caso concreto de estudio.

### **9.2.2.- Reparación de la fábrica con inyecciones de lechada**

Una posible solución es realizar inyecciones de lechada de cemento en las pilastras. La finalidad de esta solución se basa en, mediante las inyecciones de lechada de cemento, devolver la integridad al conjunto rellenado oquedades, grietas y fisuras.

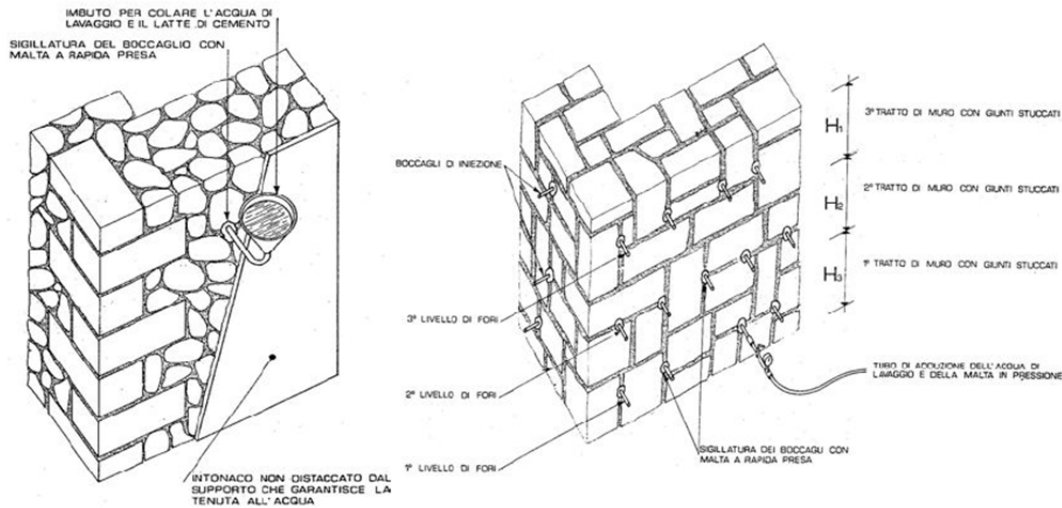
Las primeras inyecciones de mortero se realizaron por el ingeniero C. Bérigny en 1802 aprovechando la presión hidrostática para forzar la entrada de mortero en una fábrica. Posteriormente, en 1871 el Royal Building Inspector Daser aplicó presión mediante bombeo en las inyecciones a realizar para la estabilización de túneles. Se tiene constancia de la primera bombas de inyección en 1888 en Inglaterra y Alemania (Van Rickstal, 2000). A nivel local, realizaron inyecciones en las reparaciones de los pilares de la Catedral de Sevilla a finales del siglo XIX (Jiménez Martín, 2009) y de otras propuestas singulares recientes como en elementos de fábrica de ladrillo en el cerramiento de parcela de la Real Fábrica de Tabacos (Ferreira, 2013).

A día de hoy la técnica de inyecciones de lechadas de cemento está ampliamente validada y se tienen suficientes conocimientos acerca de técnicas, materiales y sistemas de aplicación. Si bien, la enorme variedad de técnicas y la elevada especialización de conocimientos necesarios hacen de ella una solución que técnicos, tiendan a rechazar por considerarlas arriesgadas en el ámbito de la geotécnia (Da casa, et al. 2007), más aún en el referido a la reparación de fábricas de ladrillo.

La técnica de inyecciones de cemento consiste en realizar perforaciones en la fábrica a rehabilitar, colocar tubos de inyección y de control, para después realizar la inyección de la lechada. Las características de la lechada variarán en función de los resultados que se pretendan obtener y de los materiales de que esté realizada la fábrica. Valores a tener en cuenta son la densidad de la lechada, los aditivos, el tiempo de inyección y la composición de la misma, debiendo ser estos compatibles con los materiales a reparar (Figura 9.32).

Es importante indicar que parte del éxito de esta técnica pasa por un correcto relleno de las fisuras de la fábrica a reparar y esto, a su vez, dependerá de la elección de materiales y de su proporción o granulometría. Por ejemplo existen datos que revelan que intervenciones realizadas con mortero de cal mejoraron la resistencia de especímenes de ensayo en un 70% (Da Porto, et al. 2003).

La inyección debe realizarse desde las perforaciones inferiores para posteriormente las superiores, finalizando la introducción de la lechada cuando aparece por los tubos de inyección superiores y obturando los inferiores a medida que se asciende. La técnica de inyección puede ser mediante bombeo, controlando el caudal, presión de inyección y composición de lechada, o en casos donde se requieran trabajos delicados o de escasa entidad, por gravedad.



**Figura. 9.32.** Esquemas de inyecciones por gravedad o por bombeo. (Fuente: Kimiaiberica 2014)

El material a inyectar es necesario que reúna una serie de características para asegurar el correcto funcionamiento de la técnica. A pesar de que hoy en día existen multitud de materiales susceptibles de ser inyectados a fin de actuar como conglomerantes de las fábricas dañadas, tales como morteros tixotrópicos cementicios, adhesivos tixotrópicos y resinas exposílicas como se muestra en la Tabla 9.2. Cada material tiene unas características distintas a fin de solventar los requerimientos específicos de cada actuación.

Material	Componentes	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Morteros tixotrópicos.	Cemento mejorado con resinas sintéticas, humo de sílice y fibras de poliamida	500-600	183.500
Adhesivos tixotrópicos.	Material bicomponente a base de resinas epoxi	600-700	43.000
Resinas exposílicas.	Material bicomponente a base de resinas epoxi de gran fluidez	700-900	2365

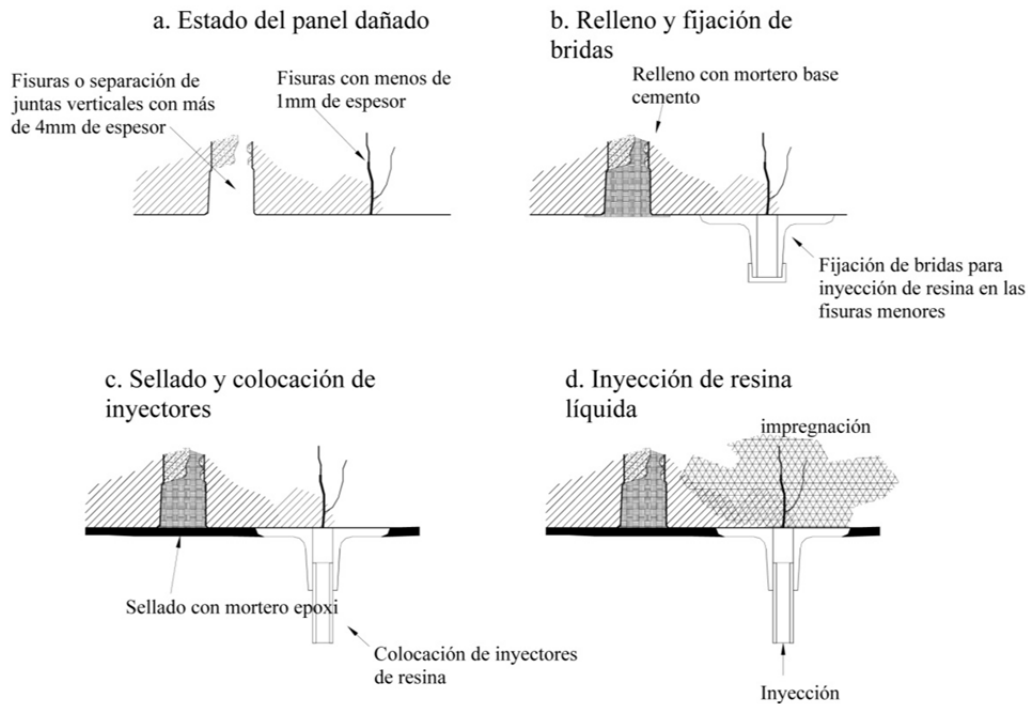
**Tabla 9.2.** Características de materiales para lechadas aglomerantes. (Araiza Garaygordóbil, 2005).

En casos de rehabilitación patrimonial se impone un criterio de compatibilidad entre el elemento a rehabilitar y los materiales a usar para ello. El material a inyectar en la fábrica debe ser de características similares a los morteros y ladrillos existentes, puesto que en el caso de realizar inyecciones con materiales extremadamente resistentes o rígidos en una fábrica histórica se pueden crear puntos duros o que el comportamiento de la fábrica no sea homogéneo.

Cualquier trabajo de inyección requiere de la preparación del elemento a inyectar, se debe realizar un primer tratamiento exterior sellando las fisuras exteriores a fin de evitar que la lechada escape por estas. Normalmente este sellado se realiza con el mismo material a realizar la inyección a fin de evitar

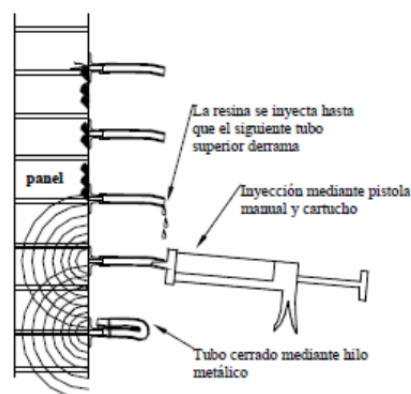


posibles interacciones entre materiales de diferentes características (Figura. 9.33).



**Figura. 9.33.** Detalle de sellado de fisuras previas. (Araiza Garaygordóbil, 2005)

La introducción de la lechada se puede realizar mediante dos sistemas principales, cada uno con sus ventajas e inconvenientes. El primero es la inyección manual (Figura 9.34), cuya principal ventaja es el control que se tiene en bajas presiones y muy recomendado para inyecciones delicadas y muy focalizadas. Otro es la inyección con bomba, con las que se pueden alcanzar grandes rendimientos, controlar presiones de inyecciones y caudales. Las principales desventajas que pueden presentar cada uno de ellos son: la limitada presión a ejercer en la primera y el control de presiones elevadas en el segundo. En función de las necesidades y los resultados a obtener se puede optar por una u otra solución, teniendo siempre presente las características del elemento a inyectar.



**Figura.9.34.** Detalles de inyección manual. Fuente: (Araiza Garaygordóbil 2005).



### **Aplicabilidad al caso objeto de estudio**

Como indican algunos autores, la aplicación de esta solución a estructuras de fábrica, hubiese requerido realizar un estudio pormenorizado sobre cómo realizar la ejecución de las inyecciones (Corradi, et al. 2008) para asegurar la correcta distribución de la masa inyectada y la funcionalidad de la solución. En primer lugar y aunque no se trata de un edificio con valor patrimonial, para evitar futuras patologías derivadas, sería necesario seleccionar un material de inyección compatible con los morteros existentes en la fábrica, concretamente debería ser una lechada de bastarda de cal. De igual modo habría que seleccionar un sistema de inyección, que en este caso y dado que habría que trabajar en altura y con muros de un pie, se podría realizar mediante inyecciones manuales. La programación de los trabajos debería reflejar el inicio de las inyecciones desde las grietas de la parte bajo de edificio para ir ascendiendo progresivamente a medida que se consigue la consolidación de los muros.

La metodología a aplicar en su ejecución debería ser coherente con el sistema normal de aplicación de esta técnica:

1. Identificación de las grietas a tratar y de los puntos de inyección.
2. Sellado exterior de las grietas y fisuras.
3. Realización de los taladros de inyección y colocación de los tubos inyectoros.
4. Inyección manual de las grietas desde la parte baja de estas hacia zonas superiores.
5. Finalmente acabado de los revestimientos y sellado de los puntos de inyección.

El éxito del sistema radica en la adecuada interacción entre la inyección realizada y la fábrica fracturada en el momento del fraguado de esta. En consolidaciones de muros cuyos daños sean oquedades interiores o disgregaciones de los morteros, se consiguen mejoras notables de la resistencia mecánica de las fábricas (Da Porto, et al. 2003), si bien el caso que se estudia, las fábricas presentaban escasas oquedades interiores o degradación de los morteros por lo que las inyecciones se hubieran limitado a rellenar las grietas y fisuras, no mejorando notablemente las características mecánicas de la fábrica. Cualquier posible movimiento posterior se reflejaría inmediatamente puesto que, en una fábrica de ladrillos, la resistencia a tracción viene dada por la interacción entre sus ladrillos. Esta solución no aporta mejoras frente a esfuerzos de tracción, favorece únicamente la continuidad del muro y su nueva entrada en carga.

Así mismo, se presenta una problemática similar a la existente para el cosido de grapas. El hecho de que las dos plantas superiores se ejecuten con muros verdugados implica la presencia de una gran cantidad de oquedades que se traducirían en pérdidas de lechada que encarecerían el coste de su aplicación y la fiabilidad de su correcta ejecución.

Se puede resumir que esta solución presenta las siguientes ventajas e inconvenientes en su aplicación al caso de estudio:

- La técnica requiere de un estudio pormenorizado para la adecuación de materiales.
- Es una técnica relativamente sencilla de ejecutar que no necesita de medios complejos y personal especializado.
- Tiene un escaso rendimiento al realizarse de manera manual, por lo que afectaría a los plazos de ejecución y a los costes.
- Como los cosidos, presenta deficiencias a la hora de aplicarse sobre fábricas huecas, con elevadas pérdidas e imposibilidad de comprobar la correcta ejecución al no permitir la colmatación de las grietas.
- La técnica consigue realizar la consolidación del muro y su entrada en carga, pero por el contrario no permite la mejora de las características a tracción de sus elementos.

En general también se considera una solución que presenta más inconvenientes que mejoras para la reparación de los muros del edificio.

### **9.2.3.- Reparación con bandas de polímeros reforzados con fibras (FRP)**

Esta es la técnica más novedosa en la reparación o refuerzo de fábricas de ladrillo, aunque quizá más desconocida puesto que se asocia más al refuerzo de elementos estructurales de hormigón y que ha sido más ampliamente utilizada en el ámbito de la ingeniería civil.

Su origen se remonta a Suiza a la década de los años 80, como alternativa al acero en los refuerzos de hormigón armado y buscándose una solución más adaptable a las superficies de este. Desde las primeras referencias a esta técnica (Triantafillou et al. 1993) como solución para la reparación de fábricas de ladrillo o cantería histórica, se ha desarrollado una intensa investigación científica en relación a los FRP y a su capacidad tanto para reparar fábricas de ladrillo dañadas, como reforzarlas frente a solicitaciones externas producidas por terremotos (Santa-María, H. et al. 2010). Incluso se han realizado estudios acerca de cómo aplicar esta técnica a la reparación de vigas de cimentación (Orbanich, et al. 2012) concluyendo que su efectividad es variable en función del tipo de terreno.

La técnica se basa en adherir mediante resinas epoxi una serie de bandas compuestas por fibras poliméricas, principalmente de fibra de carbono, a los paramentos de fábrica y que pueden ser de diversas anchuras. La disposición de las bandas en retículas sobre los paramentos actúan como elementos rigidizadores frente a las acciones externas tangenciales, axiales o normales. Al adherir estas bandas a las fábricas de ladrillo se consigue (Roca et al. 2010), gracias a la resistencia de las bandas y su adherencia a la fábrica, que la retícula asuma los esfuerzos o las acciones a las que pueda verse sometida la edificación (Figura. 9.35).

La facilidad de su aplicación, el escaso grosor de las bandas y la versatilidad para poder disponerlas en función de los esfuerzos a absorber, han llevado a que esta técnica relegue a otras más tradicionales, como el armado de tendeles, en el ámbito de los refuerzos estructurales para fábricas de ladrillos en zonas sísmicas. Si bien algunos autores, tras algunas campañas experimentales, han concluido que a pesar de que la aplicación de esta técnica produce un refuerzo frente al sismo, la pérdida de ductilidad (es decir, su adaptabilidad a los movimientos) de las fábricas de ladrillos tras la aplicación reduce seriamente el margen de seguridad estructural (Aprile, et al. 2006). De hecho, estudios (Sabahattin et al. 2013) concluyen que soluciones como el refuerzo de elementos estructurales con placas de acero bajo en carbono superan a esta técnica al mejorar la ductilidad y no necesitar ni técnicas ni mano de obra especializada, mejorando la resistencia mecánica (Taghdi et al. 2000).



**Figura.9.35.** Imágenes de ensayos con FRP. Fuente: (Araiza Garaygordóbil 2005)

Así mismo también cabe destacar el desarrollo que se está produciendo en la investigación de técnicas derivadas como son los refuerzos con polímeros reforzados por fibras de vidrio (GFRP) y refuerzos con polímeros reforzados por fibras de aramida (AFRP) (Araiza Garaygordóbil 2005). Estas técnicas consisten igualmente en la aplicación de mallas de fibras adheridas a la

superficie de la fábrica mediante resinas epoxi con el fin de absorber y rigidizar la fábrica, consiguiendo mejorar las características de estas frente a esfuerzos externos y que en el caso de esfuerzos laterales pueden llegar a mejorar hasta un 186% (Corradi, et al. 2008).

### **Aplicabilidad al caso objeto de estudio**

Para la aplicación de esta técnica se debería haber realizado un estudio pormenorizado de la distribución de las bandas a aplicar. Los esfuerzos principales en el proceso de asentamiento diferencial, son las tracciones que sufrieron las fábricas de ladrillo y las bandas deben disponerse de manera transversal a las grietas y fisuras.

La metodología de aplicación, siguiendo las recomendaciones de las casas comerciales que disponen de estos materiales, debería ser:

1. Picado de los revestimientos de los muros en el entorno de las grietas y fisuras.
2. Limpieza de la cara del muro para asegurar la adherencia y mejora de las posibles irregularidades de la fábrica con puente de adherencia.
3. Aplicación de la base de resina epoxi.
4. Colocación de las bandas de FRP sobre la resina y fraguado de las mismas.
5. Aplicación del nuevo revestimiento a la fábrica de ladrillo.

El éxito de la implantación de esta técnica reside en el escaso peso y grosor de las bandas, su elevada resistencia frente a los esfuerzos y la nula agresión al adherirse al muro dañado.

Por el contrario presenta serias deficiencias en tanto que la aplicación exclusiva en el entorno de las grietas y fisuras, refuerza esa zona pero no el resto de la fábrica, creando un diferencial de resistencia para un mismo elemento estructural como son los muros. Ante acciones como las dilataciones por cambios de temperaturas o posibles sismos, intensifica la aparición de daños en la fábrica.

La necesidad de aplicar esta técnica a la totalidad de la superficie del edificio, para homogeneizar la resistencia de los muros, hubiera supuesto un elevado coste económico al necesitarse grandes cantidades de metros de bandas de FRP y el tener que retirar la totalidad de los revestimientos de muros externos e interno además de influir en los plazos de ejecución.

De igual modo, en relación a la durabilidad de las FRP y que se componen de multitud de productos químicos orgánicos, aún no hay estudios de los que se pueda determinar la resistencia y el mantenimiento de las características

resistentes de las bandas (Araiza Garaygordóbil, 2005) lo que se presenta como un problema a la hora de proponerla como una solución definitiva.

De manera global se entiende que es una excelente técnica de refuerzo para fábricas no dañadas frente al sismo y existe una abundante literatura científica de multitud de ensayos teóricos, realizados en laboratorios, sobre sus características desde que Croci estudiara inicialmente la aplicabilidad del polipropileno (Croci, el at. 1987). Aunque, de manera contraria, no se han presentado muchos ensayos acerca de la efectividad empírica de la técnica y de cómo fábricas reforzadas, ya sean dañadas o no, han cumplido con los valores demostrados en laboratorios.

A la vista de lo anterior se puede resumir que las principales deficiencias en la aplicación de esta técnica al caso objeto de estudio son:

- La necesidad de aplicar la técnica a la totalidad de los muros para evitar diferentes resistencias entre zonas reforzadas y no reforzadas, hubiera supuesto unos elevados costes y elevados plazos de ejecución. Además de la propia complejidad al aplicarla a una gran superficie.
- No existen estudios acerca de la durabilidad de la técnica, lo que la invalida como una técnica permanente.
- Considerando la necesidad de aplicar la solución a la totalidad de los muros, los costes de reparación y los plazos para la ejecución hubieran sido más altos que la solución adoptada.

### **9.3.- Análisis comparado de la solución adoptada y las soluciones disponibles.**

La valoración entre las distintas opciones a aplicar para resolver los daños de los muros estructurales, es compleja debido a que cada solución resuelve una o varias de las circunstancias que se dan en el proceso patológico y debe seleccionarse la solución que da mejor respuesta a las necesidades para devolverle al elemento dañado sus características iniciales.

Dado que en la reparación de los muros concurren muchas circunstancias, relacionadas con los materiales y las soluciones constructivas originales, se hace necesario para una mejor comprensión, dividir este análisis en cada uno de los factores a los que hay que dar solución y estudiar una por una las soluciones propuestas previamente con la solución adoptada. Estos factores son:

- Interacción entre materiales existentes y los de las soluciones.
- Capacidad de solidarizar la fábrica fracturada.
- Mejora de las características de la fábrica.
- Durabilidad de la solución.

### Interacción entre los materiales de la fábrica y los de la solución.

Los muros de la edificación realizados son los materiales y las técnicas propias de la zona en los años 50 del pasado siglo, es decir, muro de un pie de ladrillo macizo tomado con mortero de cemento de calidad media en las dos plantas inferiores y muro de un pie verdugado de ladrillo hueco con hiladas de macizo cada tres de hueco.

Tanto la solución ejecutada como las propuestas son todas válidas en este sentido puesto que no se utiliza ningún material agresivo a la cerámica o el mortero de los muros. En concreto, tanto la solución adoptada como las inyecciones en los muros se diseñan con los materiales más compatibles con los existentes. En los casos del cosido con grapas y de las bandas de FRP es necesario aplicar resina epoxi que no afecta negativamente ni a morteros de cemento ni a cerámica.

### Capacidad de solidarizar la fábrica fracturada.

Respecto al cosido de grietas con grapas metálicas, hay que indicar que es la solución menos adecuada, esta técnica no solidariza físicamente las dos partes de las fracturas, literalmente las cose generando puntos de tensión con elementos muy resistentes como el acero anclados a piezas concretas del aparejo.

La solución de realizar inyecciones en las fábricas, rellenaría por completo las fracturas y pondría en contacto las partes del muro pero se perdería la unidad que proporciona el aparejo de la fábrica, manteniendo como líneas frágiles las fracturas rellenas.

La aplicación de bandas FRP conlleva una excesiva rigidez de las partes de la fábrica en las que se aplica, por ello para su efectividad completa, sería necesario aplicarlo a la totalidad del edificio, invalidando esta solución.

La solución más adecuada es la diseñada para la obra, la reconstrucción de las fracturas con piezas similares a las existentes y mortero de similares características, que devuelve la fábrica a su estado original y la dota de las características previas, ductilidad, capacidad portante y estado de cargas.

### Mejora de las características de la fábrica.

La solución que no aporta ninguna característica a la fábrica es el cosido mediante grapas puesto que se limita a introducir una serie de elementos metálicos para soportar cualquier sollicitación a la que se puedan ver afectados los muros.



La reconstrucción de las fracturas con nuevas hiladas no aporta nuevas características, si bien, le devuelve las capacidades que han sido necesarias en los años previos de uso y que se demuestran más que suficientes.

Las inyecciones de lechada pueden mejorar considerablemente la capacidad portante de las fábricas en el caso de disgregaciones de mortero o de la presencia de oquedades, en el estudio de caso la fábrica no se dan estas circunstancias por lo que no se puede deducir que aporten mejoras más allá de solidarizar las zonas fracturadas.

La disposición de bandas FRP mejora considerablemente las características de las fábricas frente a todo tipo de esfuerzos especialmente los sísmicos, si bien, como se indicó en el punto 9.2.3, la aplicación de esta técnica puede producir la pérdida de ductilidad de las fábricas de ladrillo que es la mejor característica que poseen las estructuras isostáticas y por la que se pueden adaptar a ligeros movimientos diferenciales.

#### Durabilidad de la solución.

De todos los posibles efectos en las diversas soluciones, el más esperable es la oxidación del cosido mediante grapas, el escaso recubrimiento de protección, su constante exposición a variaciones de temperatura y por consiguiente diferenciales de dilatación pueden producir patologías secundarias en la aplicación de esta técnica.

La inexistencia de estudios sobre la durabilidad a largo plazo de las bandas de RFP hace tener que descartarlas como una opción válida al respecto.

Tanto la solución de inyectar lechada como de reconstruir las fracturas son las que mayor durabilidad presentan al utilizarse materiales con durabilidad sobradamente conocida.

De todo lo expuesto previamente se puede concluir que la opción más adecuada para la reparación de los muros de fábrica fue la adoptada y con la que se reconstruyeron las fracturas de los muros mediante la retirada de piezas dañadas y la introducción de nuevas piezas (Tabla 9.3).

Tipo de solución	Factores a resolver por la solución			
	Interacción de materiales	Capacidad de solidarizar	Mejora de las características	Durabilidad
Reconstrucción de fracturas	✓	✓	=	✓
Cosido mediante grapas metálicas	✓	✗	✗	✗
Inyecciones de lechadas	✓	✗	✓	✓
Colocación de bandas de FRP	✓	✓	✗	✗

**Tabla 9.3.** Tabla comparativa entre aplicación de soluciones.

## **10.- REPARACIÓN DE LA CUBIERTA DEL EDIFICIO**

Cualquier edificación que sufre un asentamiento diferencial lleva aparejada la presencia de lesiones más allá de la cimentación o de la estructura vertical. Las grietas y fisuras dañan otros elementos como las cubiertas, carpinterías, instalaciones o revestimientos, en mayor o menor grado en función de su ubicación respecto de las lesiones estructurales.

Los daños en estos elementos afectan a la habitabilidad y al normal uso de la edificación, mermando o incluso eliminando la funcionalidad y siendo necesario que, en cualquier tipo de intervención sobre edificios afectados por asentamientos, se prevea la reparación de estos elementos, instalaciones o revestimientos.

Obviamente, en este tipo de intervenciones, no se pueden plantear u organizar los trabajos con las mismas premisas que en las obras de nueva planta. La gravedad y tamaño de las lesiones, además del hecho de que se actúe sobre elementos o materiales preexistentes con diferentes edades y características, implica que la organización de los trabajos se enfoque desde una perspectiva finalista. Es decir, no es lo mismo ejecutar 45 baños de nueva planta, con los mismos materiales, elementos e instalaciones, a ejecutar la reparación de 45 baños, afectados en diferentes grados por lesiones en sus revestimientos o instalaciones, cuyos materiales son distintos y de diferentes edades.

La diferencia de necesidades entre cada uno de ellos implica que la organización y la intervenciones necesarias puedan ser significativamente diferentes. Así se puede dar el caso de elementos que, dado su gran grado de afección o pérdida de funcionalidad, sea necesario demoler por completo y ejecutar nuevamente. Mientras que otros elementos, dañados en menor medida, puedan ser reparados puntualmente y vuelvan a ser funcionales.

Además de lo indicado hay que tener en cuenta los condicionantes legales de este tipo de actuaciones, principalmente impuestos por las compañías de seguros intervinientes, que implican que se realicen las reparaciones mínimas necesarias para devolver las condiciones previas a la edificación. Este es el enfoque finalista y objetivo principal de la intervención sobre una edificación dañada.

Todo esto conlleva que no se puedan aplicar los conceptos y sistemas organizativos de las obras de nueva planta, factores como la magnitud, la distribución de las lesiones y la disponibilidad del material o elemento a reparar, influyen en los rendimientos y soluciones a adoptar en la planificación.

En el caso de estudio, tras definir la intervención de recalce de la cimentación y la reparación estructural, se hace también necesario indicar la reparación de los siguientes elementos:

- cubierta,
- revestimientos interiores,
- carpinterías,
- instalaciones,
- urbanización exterior.

Era esperable que en el edificio objeto de la investigación, dada su edad y su evolución histórica a manos de multitud de propietarios distintos, cada vivienda era el fruto de 60 años de modificaciones interiores. Se mostraban variaciones tanto a nivel de distribución como de acabados interiores, de hecho se puede ilustrar este extremo indicando que, en el momento de la intervención, había una vivienda que aún mantenía la distribución, revestimientos y carpinterías originales del edificio, mientras que otra de ellas había sido objeto de reforma interior completa, meses antes de los acontecimientos que conllevaron la reparación de la edificación. Entre ambos extremos, la edad de materiales, la variedad de acabados y las modificaciones de instalaciones es tan variada como el número de viviendas.

El principal objetivo a cumplir en esta fase de los trabajos se caracterizó por devolver la funcionalidad al conjunto, devolviéndolo a su estado previo y reparando o sustituyendo los materiales o sistemas constructivos dañados. En base a los condicionantes propios de la aseguradora implicada y en virtud del acuerdo con la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento, se establecieron los siguientes compromisos como fundamentos para la organización de la obra y la definición de los trabajos a realizar:

- Se repararían únicamente los daños provocados por el asiento diferencial del edificio. No se repararían elementos o materiales no dañados por el asentamiento y que se encontrasen en mal estado debido a la edad o la falta de mantenimiento.

- Los materiales a sustituir respetarían en lo posible la estética previa, las dimensiones y sus características.
- La planificación de los trabajos definió el inicio en la zona del edificio donde había que realizarse el recalce y la reparación estructural, cerrando el frente de trabajo de la obra.
- Se subdividió la obra en cuatro partes, cada una de ellas correspondiente con los cuatro bloques que forman el edificio, para así poder permitir el realojo progresivo de los propietarios de las viviendas.

Cabe indicar que, en previsión de las reparaciones que se llevarían a cabo, al inicio de la obra se encargó a una empresa de control la realización de un reportaje del estado de la edificación. Documentándose todas y cada una de las dependencias del edificio. Esto sería de gran utilidad en multitud de ocasiones, para el reconocimiento de materiales y la reconstrucción de diversas zonas, especialmente de la planta baja que tuvo que ser completamente reconstruida tras el recalce de la cimentación.

La metodología de trabajo aplicada en esta fase de reparación interior fue la siguiente:

1. Inspección de los técnicos directores de la obra de la totalidad de las viviendas de cada bloque y evaluación de los daños en los materiales o instalaciones.
2. Levantamiento gráfico de la ubicación de las lesiones y toma de decisiones sobre las reparaciones a realizar en cada una de ellas.
3. Cuantificación de los materiales a necesitar y características de estos.
4. Búsqueda y selección de los materiales a implantar en sustitución de los dañados.
5. Ejecución de los trabajos de reparación de revestimientos e instalaciones.
6. Supervisión diaria de la ejecución de los trabajos.
7. Revisión final y prueba de las instalaciones previa a la certificación de las condiciones de habitabilidad.
8. Emisión de certificado final parcial de las obras en el bloque que permitirá el realojo de los propietarios del bloque.

En este punto es necesario hacer una referencia, como parte del éxito de la intervención, a la decisión de implicar a la asociación de vecinos representante de los propietarios de las viviendas. En el apartado correspondiente de la investigación se explicará pormenorizadamente el aspecto social y las implicaciones que conllevan este tipo de intervenciones, si bien, el éxito de esta fase se debe a la constante comunicación y coordinación de la obra con la mencionada asociación de vecinos, dando respuesta a las demandas vecinales e informando continuamente acerca del estado y desarrollo de las obras.

### 10.1.- Solución adoptada

Tras el movimiento del edificio la cubierta se vio afectada en varios puntos, principalmente debido a la diferencia de desplazamiento entre el cuerpo principal y los cuerpos salientes, esto se tradujo en la aparición de grietas por las que se filtraba el agua.

La cubierta del edificio se caracteriza por ser una cubierta plana, sólo accesible para mantenimiento, y ejecutada de acuerdo a los criterios de edificaciones de similares edades. Así esta, se componía de: una capa de aligeramiento y formación de pendientes con carbonilla, una capa de mortero de regularización, solería pérdida de baldosa cerámica 14x28 y terminación con solería de baldosa cerámica 14x28 colocada “a la palma”. En el momento de la intervención la cubierta se encuentra también pintada con pintura al clorocaucho, no siendo igual en cada uno de los cuatro bloques de los que se compone el edificio debido a diferencias de mantenimiento entre ellos (Figura 10.1).



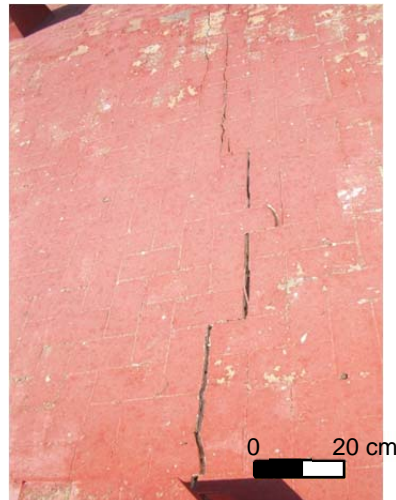
**Figura 10.1.-** Imagen general de la cubierta



**Figura 10.3.-** Imagen parcial de la cubierta.



**Figura 10.2.-** Detalle de fisura.

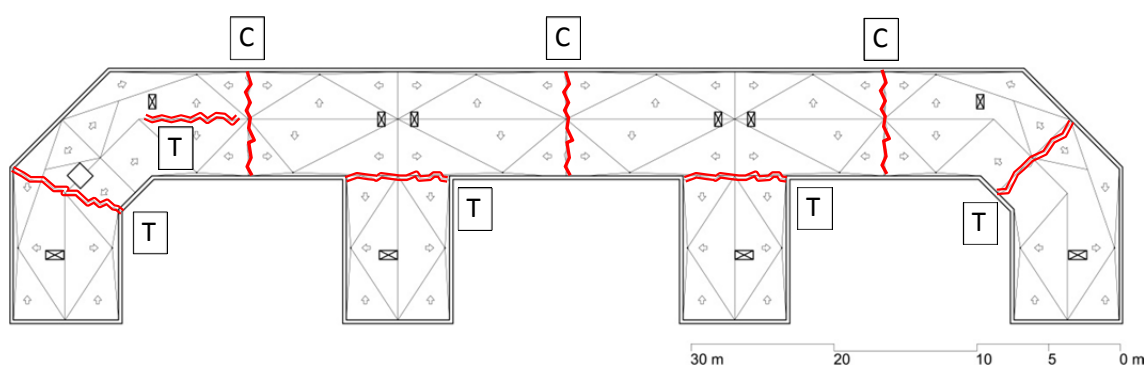


**Figura 10.4.-** Detalle de fisura.

Como se mencionó en el apartado anterior, el desplazamiento del edificio produjo una serie de roturas que se debieron a la diferencia en los

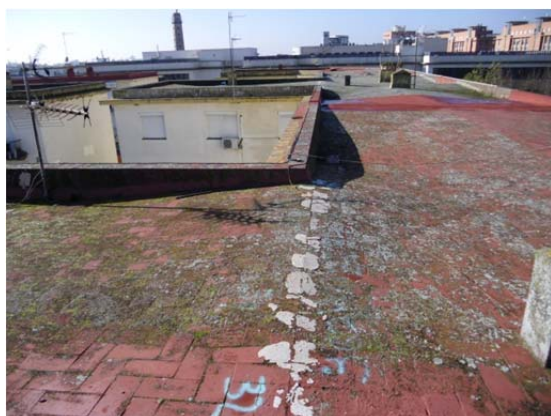
desplazamientos entre los distintos cuerpos del edificio (Figura 9.19). Estas fracturas fueron tanto de tracción en los puntos en los que se separaban los volúmenes, como de compresión en los puntos en los que, debido a los asentamientos, los distintos cuerpos del edificio se acercaban. Hay que indicar que estas zonas de compresión coincidieron naturalmente con las juntas de dilatación entre los cuatro bloques y debido a la deformación en arco invertido de la cimentación del edificio.

La apertura de fracturas en la cubierta produjo la entrada de agua y su acumulación en la formación de pendiente (Figuras 10.2 y 10.4), mientras que en las zonas de compresión de la cubierta se produjo el levantamiento de las piezas (Figura 10.5).



**Figura 10.5.** Ubicación de las fracturas en cubierta. (C: compresión; T: tracción.)

Además de los daños producidos por el movimiento de la cimentación, la falta de mantenimiento regular y el hecho de que cada bloque se organizase en una comunidad de propietarios distintos, produjo que la cubierta presentara diversos estados de conservación. Se pudo observar la presencia de musgo en la superficie (Figura 10.6) y el taponamiento de las cazoletas de los desagües de la cubierta (Figura 10.7).



**Figura 10.6.-** Suciedad en la cubierta.



**Figura 10.7.-** Detalle de los sumideros.



El proceso de reparación de la cubierta fue de carácter integral, es decir, se acometió en una única fase y de manera previa a la reparación de los revestimientos interiores. Debido a que la funcionalidad de la cubierta pasaba por devolverle sus cualidades impermeables se hizo necesario reparar la totalidad de la superficie de la misma. Se actuó tanto sobre superficie de cubierta como sobre las juntas de dilatación y se definieron dos soluciones a adoptar en cada uno de los casos:

- Reparación de los faldones de cubierta: levantado de la solería y de la carbonilla de formación de pendiente hasta unos 50cm por sus laterales, inspección de la fractura en el forjado para comprobar su geometría, sellado de la fractura, formación de la pendiente con el material original, ejecución de doble solería, perdida y de terminación, a la palma con mortero bastardo de cal. Por último pintado de toda la superficie de la cubierta con pintura al clorocaucho con armado de fibra de vidrio.
- Reparación de las juntas de dilatación: levantado de la solería de terminación y retirada de los elementos de sellado de plomo, sellado de la junta con lamina asfáltica adherida por calor y ejecución de solería con junta, colocada a la palma con mortero bastardo de cal.

Para proceder a la reimpermeabilización de la totalidad de la cubierta, se realizó una limpieza de la misma con agua a presión para retirar los musgos de su superficie (Figuras 10.16 y 10.17) y una limpieza general de las cazoletas y los aleros de la misma.

Posteriormente, para garantizar las características impermeables de la misma se aplicó una doble mano de pintura al clorocaucho con velo de fibra de vidrio (Figuras 10.18 y 10.19).



**Figura 10.8.** Levantado de solería



**Figura 10.9.** Inspección y sellado





**Figura 10.10.** Formación de pendiente



**Figura 10.11.** Solado.



**Figura 10.12.** Levantado de solería



**Figura 10.13.** Retirada elementos de plomo



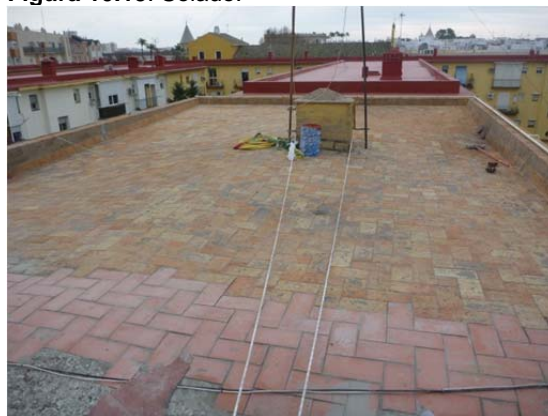
**Figura 10.14.** Impermeabilización junta



**Figura 10.15.** Solado.



**Figura 10.16.** Limpieza de la cubierta.



**Figura 10.17.-** Imagen general tras limpiar.



Figura 10.18.- Colocación de velo de fibra.



Figura 10.19.- Cubierta terminada.

## 10.2.- Soluciones disponibles para la reparación de la cubierta

La reparación de la cubierta debe devolver la funcionalidad de cubrición e impermeabilizar el edificio. Como se ha indicado previamente, los daños aparecidos se limitaron a zonas puntuales de la cubierta, si bien, dada la pérdida de estanqueidad de la misma fue necesario repararla. Durante la vida de una edificación su cubierta puede verse dañada por aspectos como pueden ser la falta de mantenimiento, un uso inadecuado o por factores externos como es el caso de estudio. Así mismo, la amplitud de los daños puede referirse a los elementos de revestimiento, a la impermeabilización o a la formación de las pendientes necesarias para su desagüe. Siendo necesario reparar uno o varios de estos elementos para devolver la funcionalidad a la cubierta.

La reparación de una cubierta dañada por movimientos diferenciales se puede afrontar de varias maneras en función de la magnitud o extensión de los daños. Pudiendo ser, una reparación puntual si se realiza en un punto concreto por el que se produce una filtración, parcial si se repara únicamente la parte dañada de la cubierta o total si se opta por reparar la totalidad de la superficie de la cubierta.

Un factor a tener en cuenta es la compatibilidad de materiales, la necesidad de reparar cubiertas antiguas con materiales de nueva fabricación puede verse comprometida por las inadecuadas interacciones o compatibilidades entre ellos. Así mismo, la presencia de materiales cuya manipulación es peligrosa o que deben ser retirados como el plomo o el fibrocemento con amianto influyen en la toma de decisiones a la hora de intervenir sobre una cubierta.

Dadas las características de la cubierta del edificio objeto, las dos posibles soluciones disponibles pasaban por ser las siguientes:

- La demolición total de la cubierta y la ejecución de una nueva.
- La reparación parcial y su reimpermeabilización completa.

La primera solución consistiría en la demolición manual (debido a las condiciones de acceso) de la totalidad de la superficie de la cubierta, retirando



el pavimento de terminación, mortero de regularización y la formación de pendiente con carbonilla. La carga y traslado de los materiales a un centro gestor de residuos autorizado, para posteriormente ejecutar una nueva cubierta entera compuesta de: formación de pendiente con hormigón celular, capa de mortero de regularización, impermeabilización con lámina asfáltica termosoldada, capa de mortero de protección y acabado con baldosa 14x28 tomada con mortero bastardo. La segunda solución, que fue la adoptada definitivamente, ha sido descrita en el punto anterior.

### **10.3.- Análisis de la solución y evaluación de las alternativas disponibles**

Ambas soluciones disponibles presentan, como características comunes, la sencillez de las soluciones adoptar, con materiales fácilmente asequibles y sin necesidad de mano de obra especializada. Pudiendo conocerse los rendimientos de ambas soluciones y establecer así la duración de ambas tareas para una adecuada planificación. Las diferencias radican más bien en aspectos de magnitud económica y de diferencia de plazos.

En el primer caso, la demolición completa presenta como principales ventajas el hecho de ser una solución integral al conjunto de la cubierta, hubiera minimizado la posibilidad de aparición de futuras humedades o de problemas entre materiales de diferentes edades. Así mismo hubiera permitido la mejora de su solución constructiva, agregando un aislamiento térmico que mejorase las condiciones de habitabilidad de las viviendas. Por el contrario, pero presenta como desventajas aspectos como el elevado coste económico de la solución, el mayor plazo de ejecución necesario y que la autorización urbanística autorizada exclusivamente a devolver el edificio a su estado primitivo, no introduciendo mejoras.

En el caso de la reparación parcial, que fue la finalmente adoptada, puesto que la cubierta se encontraba en buen estado se consideró que una reparación parcial aportaría la misma impermeabilidad a las viviendas. La principal desventaja que presenta esta solución es que al intervenir exclusivamente donde han aparecido grietas fisuras y levantamientos de solería se debía garantizar la estanqueidad de toda la superficie, para ello se añadió a esta solución la aplicación de una pintura de clorocaucho con velo de fibra de vidrio en la totalidad de la superficie. En cualquier caso la principal ventaja de esta solución frente a la previa es que requiere de menor cantidad de materiales y de mano de obra y resuelve adecuadamente las necesidades, además de tener un plazo de ejecución muy corto.

La aplicación de esta solución permitió controlar el coste de la obra, asegurar la impermeabilidad de la cubierta, así como minimizar el plazo necesario para la ejecución de las obras y en cuya planificación general se establecía la

finalización de la reparación de la cubierta como precedente para realizar la reparación de los revestimientos interiores.

## **11.- REPARACIONES DE REVESTIMIENTOS INTERIORES, CARPINTERÍAS E INSTALACIONES**

### **11.1.- Solución adoptada**

En este apartado se describen los trabajos de reparación que se llevaron en las cuarenta viviendas de las que se compone el edificio. La reparación fue completamente distinta en cada vivienda y conllevó la intervención en distintos materiales de revestimiento e instalaciones, esto supuso la dificultad añadida, encontrar materiales similares o compatibles con los existentes y no dañados, de modo que la intervención fuese lo más respetuosa posible con la estética original.

Como se indicó en las secciones anteriores, el nivel de reparación de las viviendas y los daños en cada una de ellas variaron en función de la posición dentro del edificio. A mayor cercanía al punto de mayor asiento, mayores fueron los daños interiores y mayor la afección de las instalaciones de las viviendas. Como ejemplos extremos, se puede indicar que mientras las viviendas situadas en la planta baja fueron completamente ejecutadas de nuevo (dada la necesidad de demolerlas previamente para ejecutar el recalce), las situadas en plantas superiores y en los extremos del edificio apenas sufrieron daños en su interior.

La magnitud de la necesidad de reponer materiales, reparar daños e instalaciones varió desde la totalidad en la planta baja a algunas reparaciones menores en plantas altas. La necesidad de buscar, seleccionar y reparar la totalidad de los revestimientos de una vivienda, a sustituir un par de piezas de alicatado con material de reserva acopiado desde hace años por los propietarios. Da ello idea de la complejidad de gestionar la multitud de la casuística que se presentaba.

La reparación interior de las viviendas dañadas, por ser los materiales donde los propietarios dejan más su impronta personal y la que conocen de manera más cercana, es quizá la más delicada de reparar. En este punto como delicada se entiende como la que más susceptibilidades despierta en los propietarios y donde las decisiones a tomar por parte de los técnicos deben mostrar más sensibilidad hacia los propietarios.

En el apartado de los condicionantes sociales se explica con mayor detalle las circunstancias que rodean la intervención, si bien, en este punto merece la pena reseñar que los propietarios se mostraban más preocupados por la terminación, revestimientos o carpinterías de sus viviendas que por la reparación estructural del edificio.

La necesidad de éxito en los objetivos de la intervención, en concreto la terminación en plazo y el cumplimiento de los compromisos sociales adquiridos, conllevó que se diera mucha importancia a esta fase de los trabajos y se aplicara la siguiente metodología:

- Inspección de las viviendas y reconocimiento de las necesidades, tanto de materiales e instalaciones. Recogida de muestras en los casos posibles o toma de fotografías.
- Búsqueda de materiales similares, principalmente alicatados, solerías o carpinterías disponibles en el mercado.
- Entrevista con los propietarios de cada vivienda para consensuar los materiales a colocar o la disponibilidad de ellos.
- Ejecución de los trabajos de reparación.
- Visita de los propietarios a las viviendas para su conformidad y repasos que considerasen oportunos.
- Repasos de las viviendas.
- Certificación de la finalización de las obras y de sus condiciones de habitabilidad. Justificación frente a la autoridad urbanística.
- Entrega de las viviendas.

Dicha metodología, efectiva, con los objetivos en el periodo establecido y consiguiendo la implicación de los propietarios en el proceso a través de la asociación de vecinos.

Las entrevistas con los propietarios se mostraron muy fructíferas y se pudo obtener valiosa información para proceder a las reparaciones. Por ejemplo, en viviendas que habían sido recientemente reformadas se pudo conocer el suministrador de los materiales de la vivienda para acudir a este proveedor a buscar los mismos con los que ejecutar la reparación. En otros casos de viviendas más antiguas y con menor nivel de daños, varios propietarios



informaron que poseían pequeños acopios de material como los existentes en sus viviendas, estos permitieron realizar reparaciones puntuales con la mínima afección estética (Figura 11.1).



**Figura 11.1.** Imagen del estado previo y la posterior reparación en los revestimientos de una de las viviendas.

La reparación se llevó a cabo estableciendo el criterio de la mínima reparación necesaria, es decir, sustituyendo sólo los elementos o materiales de revestimientos dañados por otros similares. Si bien, la magnitud de los daños en algunas de las viviendas, implicó que se adoptara también el criterio que cuando la reparación afectara seriamente a la estética de la dependencia se sustituyese parcialmente materiales no afectados.

La casuística que se presentó en multitud de las ocasiones y con distintas magnitudes de daños conllevó a que se aplicasen criterios de selección de soluciones a adoptar (Tabla 11.1). Estos a su vez fueron comunicados y consensuados con la asociación de vecinos en las reuniones con los propietarios, que debidamente informados aumentó la confianza en el proceso de reparación.

A nivel organizativo, como se indicó en otras etapas de la reparación, se realizó una programación lineal de la obra a fin de que los propietarios se realojaran de manera progresiva en las viviendas. Se trabajó en cada uno de los cuatro bloques que componen el edificio, levantando un plano de reparaciones por cada una de las viviendas que se recogieron en el proyecto final de la obra.

Cabe destacar que el las obras de reparación duraron unos siete meses, tiempo en el que se consiguió que los propietarios volvieran a sus viviendas en perfectas condiciones.

<b>Reparaciones puntuales en dependencias:</b>		
Tipo de daños	Afecciones de los daños	Acción ejecutada.
Daños puntuales en alicatados o solados.	Los daños no afectan a la estética de la dependencia.	Sustitución de las piezas por similares o acopios de los propietarios.
Daños parciales en alicatados o solados.	Los daños si afectan a la estética de la dependencia.	Sustitución parcial por materiales de diseño y calidad similar a los originales.
Daños en carpinterías de madera, acero o aluminio.	Daños con posibilidad de reparación.	Reparación de la carpintería.
Instalación funcional pero con daños puntuales.	La instalación es operativa pero no en su totalidad.	Reparación puntual de la instalación.
<b>Reparaciones generales en dependencias:</b>		
Tipo de daños	Afecciones de los daños	Acción ejecutada.
Daños generales en alicatados.	Revestimientos dañados en su totalidad o con riesgos de desprendimiento total o parcial.	Demolición total del revestimiento, preparación y nivelación del soporte. Ejecución de material de calidad similar y diseño elegido por el propietario.
Desplome o inclinación de solados en las viviendas.	Desplome o inclinación de los solados por encima de los criterios mínimos de habitabilidad.	Sustitución de la totalidad del solado por uno similar en calidad elegido por el propietario.
Daños en carpinterías de madera, acero o aluminio.	Daños sin posibilidad de reparación y pérdida de funcionalidad.	Sustitución de los elementos por similares en calidad y diseño.
Instalación dañada o demolida parcialmente por necesidades de la ejecución.	Instalación completamente inoperativa.	Ejecución de nueva instalación completa.

**Tabla 11.1.** Tabla de criterios en las actuaciones llevadas a cabo.



**Figura 11.2.** Imagen del estado previo y la posterior reparación en los revestimientos de una de las viviendas.



**Figura 11.3.** Imagen del estado previo y la posterior reparación en los revestimientos de una de las viviendas.

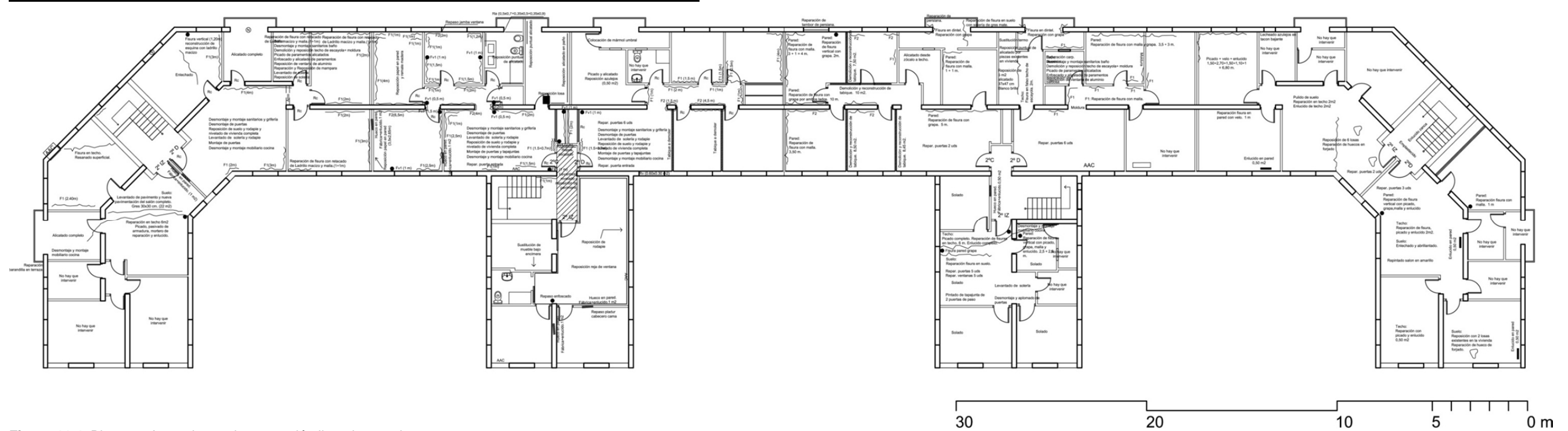


Figura 11.4. Planta 1. Actuaciones de reparación llevadas a cabo.

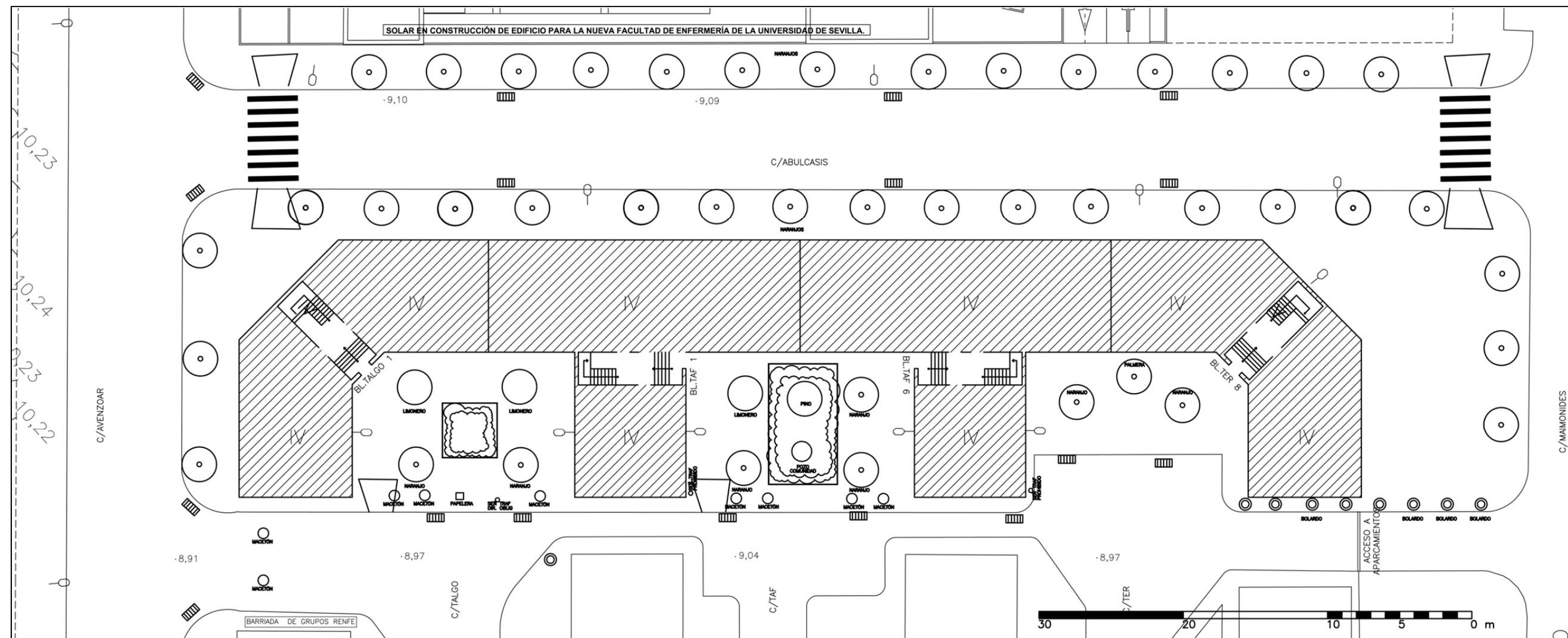


Figura 12.1. Urbanización del edificio

### **11.2.- Alternativas disponibles para la reparación de revestimientos interiores, carpinterías e instalaciones de las viviendas**

La reparación de los revestimientos interiores e instalaciones de las viviendas, descrita en el punto anterior, no presentó ninguna otra opción disponible y las decisiones tomadas al respecto respondieron más a criterios sociales que técnicos.

Sin entrar a valorar aspectos psicológicos, una persona que se ve forzada a abandonar su vivienda en unas circunstancias de emergencia y estando la integridad de la vivienda en riesgo estructural, condiciona el apego de las personas hacia su hogar, lo que representa, su valor y la estética impregnada por el propietario a lo largo de años, es el factor a tener en cuenta a la hora de tomar decisiones técnicas.

Es por ello que se tomó la decisión de reparar los revestimientos de las viviendas, las carpinterías e instalaciones en la mayor medida posible, limitando la sustitución de materiales por otros, similares en calidad y apariencia, en los casos en los que se imposibilitaba la reparación por falta de materiales o porque era imposible. Esto conllevó tener que realizar búsquedas por parte de la dirección de obra y contratista de materiales similares, muchos de ellos descatalogados o en restos sueltos.

Quizá se podría haber unificado un diseño y seleccionar unos materiales tipos para colocar en toda la obra, igualando todas las viviendas y simplificando el proceso, esto se hubiera reflejado en una disminución de los costes y una reducción del plazo de ejecución conocido. Por el contrario, la diferencia de calidad de materiales colocados en las viviendas por sus propietarios y el diferente mantenimiento llevado a cabo por cada uno hubiera podido llevar a situaciones de enfrentamiento entre los propietarios por producirse agravios comparativos.

En cualquier caso, la opción tomada se mostró completamente eficaz al devolver las viviendas a los propietarios en un estado igual al que tuvieron que abandonarlas.

## **12.- REPARACION DE LA URBANIZACIÓN**

### **12.1.- Solución adoptada**

Toda edificación lleva asociada una urbanización para sus accesos, suministros, etc. Cuando nos referimos a edificaciones que se encuentran en núcleos urbanos, la aparición de procesos patológicos en los que intervienen dos edificaciones lleva aparejada la aparición de daños en la urbanización circundante o existente entre ellos.

En el caso de estudio cabe diferenciar dos tipos de urbanizaciones, por un lado el diseño de la barriada como un núcleo cerrado crea una urbanización interior de carácter privado, mientras que todo el núcleo residencial se rodea de una urbanización pública construida en la reordenación urbana que se llevó a cabo en la zona a partir de 1995.

Ambas urbanizaciones presentaban una serie de características distintas, mientras la interior y privada, conserva el diseño y muchos de los materiales e instalaciones originales, la exterior presenta materiales e instalaciones más modernos y acordes al entorno, adaptados a criterios de accesibilidad y funcionalidad urbana.

La distancia que separa el edificio objeto de este estudio y el edificio causante del todo el proceso patológico es de 13.50 m, esta distancia es ocupada en su totalidad por la calle Abulcasis. Obviamente el desplazamiento del terreno que causó el asiento afectó directamente a dicho vial, causando una serie de daños que afectaron a pavimentos e instalaciones que discurrían por la calle. Por ello fue necesario también proceder a la reparación de esta zona, no limitándose la actuación a la exclusiva reparación del edificio afectado puesto que dentro de los compromisos adquiridos estaba también la reparación del entorno urbano afectado.



Tras el movimiento aparecieron una serie de grietas en el pavimento de la calle Abulcasis, longitudinal y transversalmente, las primeras (Figura 12.1) debido al movimiento de desplazamiento horizontal del terreno en dirección al muro pantalla y las segundas (Figura 13.2) producidas por el asentamiento vertical.



**Figura 12.1.** Grieta horizontal en el pavimento



**Figura 12.2.** Grieta transversal en el pavimento.

El movimiento del terreno, no solo afectó a los pavimentos del vial, también afectó a las instalaciones que discurrían por el entorno. Tras el incidente que provocó el desalojo de los vecinos fue necesario anular, por cuestiones de seguridad, las instalaciones eléctricas y de alumbrado, así como los suministros de gas y agua. La red de alcantarillado público, que discurre por el eje de la calle Abulcasis fue la instalación más afectada. En la inspección preliminar se comprobó que el movimiento del terreno afectó a la rasante hidráulica de la instalación, que se desplazó conforme al movimiento del terreno. La red, construida con piezas de hormigón prefabricado, perdió las condiciones de operatividad y decidiéndose desde un primer momento la intervención sobre ella.

Se decidió realizar una inspección en profundidad de la red de alcantarillado por medio de equipos robotizados remotos. De la inspección se pudo observar el estado interior de la red, su pendiente y los elementos que la obstruían.

Tras la inspección se decidió en acuerdo con la compañía suministradora de servicios de alcantarillado y abastecimiento de la ciudad, sustituir un tramo del alcantarillado por otro de nueva ejecución y realizar una limpieza general de la red en el entorno del edificio. Para ello se contó con un sistema de limpieza por presión. Este sistema se compone de una autobomba con una manguera de limpieza (Figura 12.6) dotada de varios cabezales empujados por la presión del agua, que discurre a contrapendiente del tramo de alcantarillado mientras los

chorros de agua a presión limpien las paredes del alcantarillado y permiten la recogida de residuos en los pozos de registro (Figuras 12.7 y 12.8).



**Figura 12.3.** Inspección de pozo atascado.



**Figura 12.4.** Equipo de limpieza a presión.



**Figura 12.5.** Manguera de limpieza en funcionamiento



**Figura 12.6.** Detalle del cabezal de la manguera de limpieza.

Comprobada la limpieza de los tramos afectados se procedió a realizar la reparación completa de la urbanización, para ello se estableció la organización y el programa de trabajo que permitiese el realojo de los vecinos, la operatividad de la urbanización y sus instalaciones asociadas.

La reparación de la urbanización consistió en las siguientes actividades:

- Inspección y toma de datos de la red de alcantarillado.
- Sustitución de los tramos de alcantarillado dañados.
- Ejecución de nuevas acometidas de alcantarillado.
- Limpieza de los tramos que presentase suciedad o algún elemento extraño.
- Inspección y clorado de red de abastecimiento de agua.
- Reposición de pavimentos, bordillos, encintados y alcorques.
- Reposición del mobiliario urbano.
- Reposición del alumbrado público.

Durante la ejecución de las medidas, dado que parte del alcantarillado a reparar discurría por la zona a compartir con la obra aledaña, fue necesario



realizar la coordinación de los trabajos a fin de evitar interferencias innecesarias y evitar que tras la reparación hubiera que volver a levantar tramos. Precisamente por ello se decidió incluir en las actuaciones las acometidas del edificio de Ciencias de la Salud. Siguiendo un modelo de planificación normal para urbanizaciones, se realizaron en primer lugar los trabajos de alcantarillado para posteriormente realizar los encintados y bordillos, realizar la nivelación de soleras de pavimentos y posteriormente los pavimentos. Como parte final, se nivelaron y prepararon las sub bases de los viales y se terminó con el extendido de la mezcla asfáltica. Antes de la recepción se procedió a colocar el mobiliario urbano tal y como estaban antes de la intervención.



**Figura 12.7.-** Trabajos de pavimentación.



**Figura 12.8.-** Trabajos de pavimentación.



**Figura 12.9.-** Trabajos de pavimentación.



**Figura 12.10.-** Trabajos de pavimentación.

Con la finalización de las obras de reparación de la urbanización y el realojo de los vecinos se dieron por finalizadas las obras.

De la experiencia en la obra se puede concluir que la aplicación de una metodología basada en un sistema organizativo destinado tanto a conseguir los objetivos técnicos y sociales; donde a nivel técnico, se diseña una planificación escalonada de los trabajos en varios frentes y en el que los problemas que se presentan se resuelven experimentando soluciones más allá de las técnicas comunes, permiten la consecución de objetivos, que en el inicio de los trabajos presentan multitud de incertidumbres y que dado el carácter de urgencia de la intervención no permite demorar el inicio y diseñar complejos procedimientos.

Así mismo, como se indica en el apartado social de manera más extensa, la implicación de los propietarios a través de la asociación de vecinos, en la que confían y que les representa, es muy fructífera en tanto que elimina la desconfianza inicial y las posibles reticencias a que se intervenga en sus viviendas. El hacerlos partícipes en el proceso de reparación de sus viviendas genera una predisposición a aceptar las decisiones técnicas y a valorar positivamente el esfuerzo de la Universidad en el compromiso de reparación de sus viviendas.

## **12.2 Soluciones disponibles para la reparación de la urbanización**

Las reparaciones en la urbanización de la edificación, que principalmente fueron la red de alcantarillado y pavimentos, estuvieron muy condicionadas al verse afectada la red pública de alcantarillado dado que la intervención sobre la red pública es competencia exclusiva de la empresa municipal de aguas.

La reparación realizada por medios propios de la obra fue la parte de la red privada de la urbanización afectada y, como se ha descrito en el punto anterior, se sustituyeron los colectores por otros similares y siguiendo el mismo trazado.

Aspectos como la inspección de la red pública de alcantarillado y la sustitución de los tramos de colector afectados, fueron realizados por la empresa municipal de agua que bajo su propio criterio técnico realizó la limpieza de la red y contrató la sustitución de los tramos dañados o afectados. La selección de los pavimentos y de las características de los materiales de las calzadas, se realizaron siguiendo las instrucciones de la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento por lo que no se definieron ni pudieron valorar más opciones para la ejecución de la urbanización.

## **13.- ASPECTOS SOCIALES**

### **13.1.- Descripción de los condicionantes sociales en las intervenciones de emergencia**

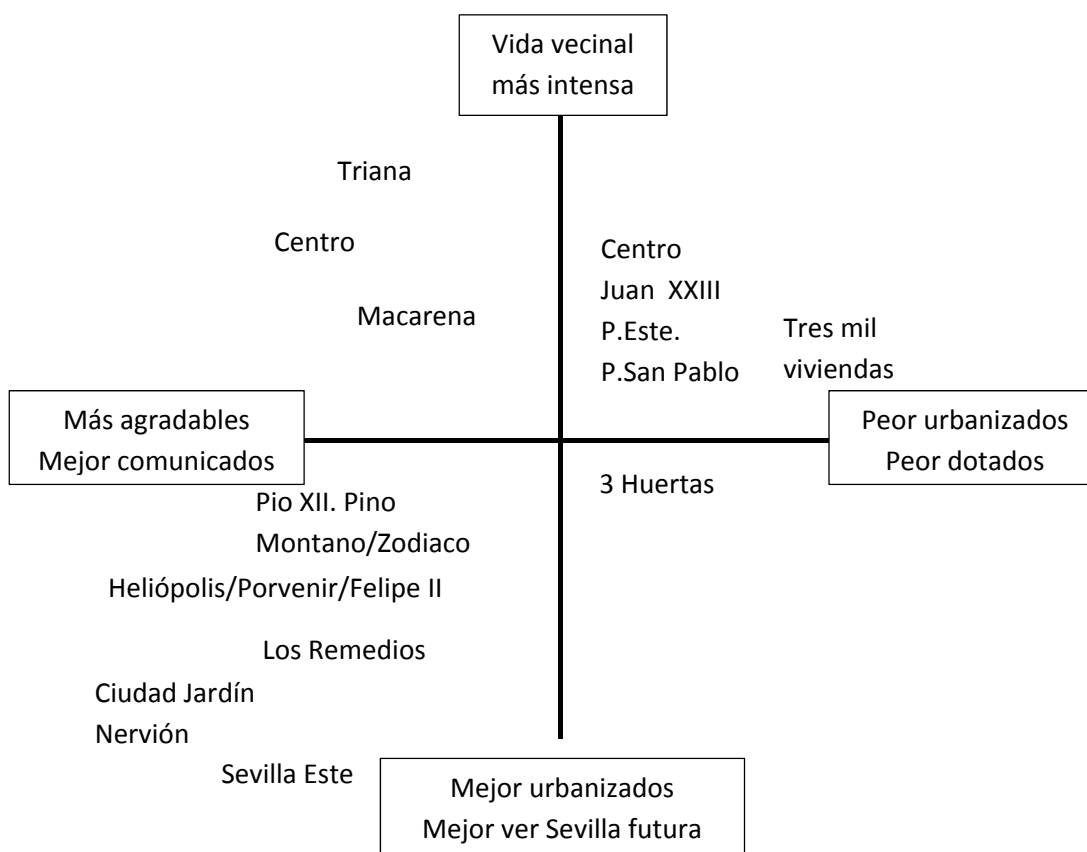
Para entender el éxito de la intervención y los condicionantes sociales que se tuvieron que afrontar, es necesario realizar un estudio de las particularidades sociales de la zona y cómo se organizaron las actividades de la obra en relación a estas para la consecución de los objetivos planteados. Así mismo, de manera previa y durante la intervención se tomaron una serie de medidas de carácter social que estuvieron destinadas a mejorar las condiciones de las personas afectadas por el accidente y que, desde la perspectiva de la experiencia, se mostraron muy valiosas para la consecución de los objetivos.

Como se indicó en el apartado 5.1 sobre la evolución histórica de la zona, las características de socio-económicas de la denominada Barriada Renfe han estado muy condicionadas durante años por la actividad ferroviaria de los residentes. Tras la finalización de las obras de construcción de la barriada los trabajadores pasaron a residir en la zona y, como era usual a mitad del siglo XX, la ubicación de las colonias de trabajadores de Renfe siempre era cercana a las estaciones o núcleos ferroviarios para evitar los desplazamientos. En el caso de estudio, la ubicación de la barriada en la zona industrial periférica de la ciudad y alejada de otras zonas residenciales, hizo que unido al origen ferroviario de los trabajadores se desarrollara una fuerte identidad propia de conjunto. A pesar del paso de los años la desafección de los terrenos por Renfe, por el traslado de las infraestructuras y el cambio de propietarios originales, la presencia de empleados jubilados o de sus descendientes es muy significativa, lo que se traduce en un fuerte arraigo de los propietarios.

La población del conjunto de la barriada se caracteriza por ser de clase media y utilizarse como residencia habitual, aunque la cercanía a las zonas universitarias implica que algunas de las viviendas se utilicen como pisos de estudiantes. Hay

que indicar que desde los años 90 los vecinos del grupo residencial se organizan en una asociación de vecinos que ha representado sus intereses e inquietudes durante la transformación de la zona, esta característica, posiblemente heredada de las costumbres sindicales de Renfe en los años 70, influirá de manera determinante en la consecución de los objetivos de la intervención. No se puede plantear una intervención social desde un punto de vista general dado que las necesidades de algunos afectados y sus características personales eran muy variadas, desde personas jubiladas a jóvenes matrimonios con hijos de corta edad, pasando por familias extranjeras con otros patrones culturales.

Se han realizado estudios (Conde, 2007) en los que se establece un análisis de correspondencia entre variables como la vida social, las dotaciones y las comunicaciones urbanas en distintos barrios de Sevilla, representándose de manera gráfica en la Figura 13.1. En ella se puede observar, por la cercanía a los ejes de las variables, que la zona de la Macarena se caracteriza por estar dotada de buenas infraestructuras y a su vez, dado su carácter de arrabal, una fuerte identidad vecinal, que se vio reflejada en la respuesta en grupo tras el accidente.



**Figura 13.1.-** Gráfico de análisis de correspondencia entre factores. (Conde. 2007)

De igual modo, más allá del origen común de los residentes en el inmueble, la identificación personal con la vivienda y especialmente por las construidas masivamente durante los años 50-60, se enraíza para aquella incipiente



generación de clase media en el concepto aspiracional de adquirir una vivienda en propiedad (Conde. F, 2007). Es decir, el objetivo durante su vida de muchas de las personas afectadas fue adquirir un piso en propiedad, el privarles del rendimiento de su trabajo podría haber sido psicológicamente devastador.

Todos los anteriores factores sociales, como la identidad social y el arraigo a la zona, respectivamente derivadas de la intensa vida vecinal y el origen común de la zona, condicionaron la intervención sobre la edificación. La necesidad de desalojar sus viviendas a cuarenta familias durante un periodo en principio indeterminado y bajo otras incertidumbres relacionadas con el estado físico de sus viviendas supuso un condicionante técnico y legal:

- Técnico: Entendiéndose cómo influyó el factor social sobre las posibles soluciones a adoptar para realizar el recalce de la cimentación del edificio y la reparación de su estructura y sus acabados interiores.
- Legal: Debido a la rápida necesidad de respuesta y los condicionantes urbanísticos implicaron realizar las obras bajo circunstancias de emergencia, realizándose la obra bajo el amparo de un decreto de la Gerencia de Urbanismo.

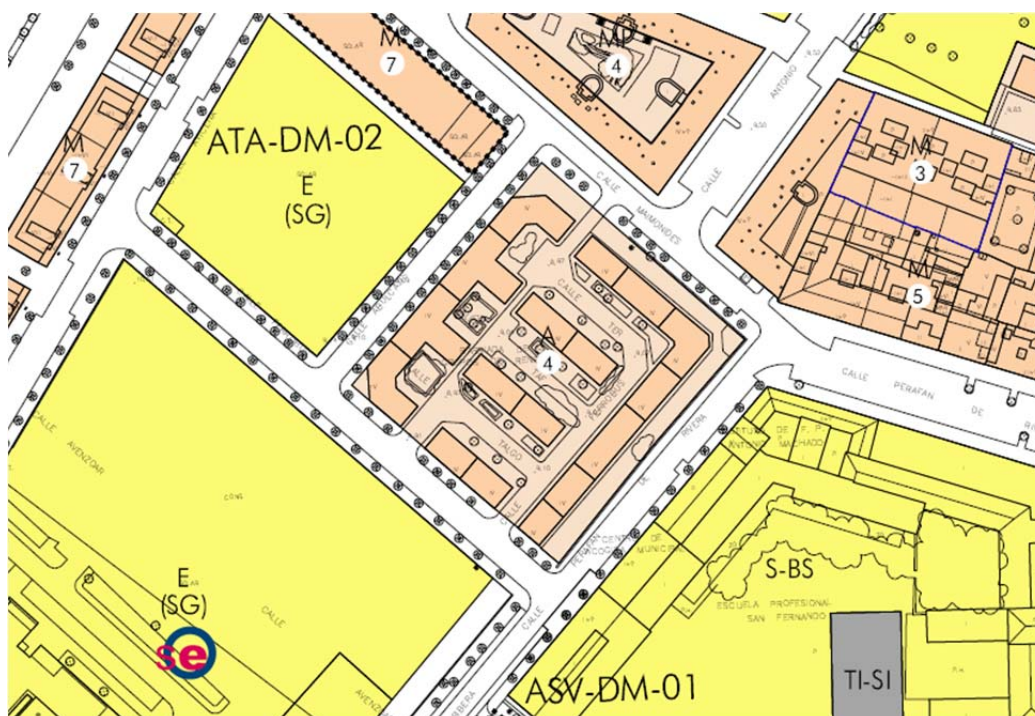
La primera condición que impone el factor social es la posibilidad o no de recuperar el edificio siniestrado o si, por el contrario, es más conveniente llevar a cabo una demolición completa y ejecutar uno de nueva planta. Existen estudios en los que se establece una metodología sobre la recuperación de edificios más allá del concepto de ruina urbanística (Alba, 2015) y los cuales, mediante una perspectiva económica, pueden ayudar a la toma de decisiones en ese sentido. En la presente investigación se parte de la premisa de que dicho edificio es recuperable, puesto que así se valoró en el proceso de diagnóstico descrito en el Capítulo 6.

Además, las características geométricas de la parcela y las condiciones urbanísticas de la zona impiden la construcción de más de cuatro alturas (Figura 13.2), y la posibilidad de diseñar un pudiera dar cabida a 40 viviendas conforme a la normativa vigente. Esto supondría el agravio de las familias excluidas y por tanto desplazadas.

Por lo anterior se puede concluir que la intervención sobre el edificio existente es la solución socialmente más adecuada, debido a que permite devolver a las personas afectadas a su propia vivienda, en la que han vivido durante años y a la que se encuentran ligados mediante lazos afectivos de gran intensidad.

Bajo la perspectiva técnica, es necesario definir un plazo concreto para la intervención y no excesivamente prolongado. Esto influye en la necesidad de minimizar los plazos previos a la ejecución de las obras y que coinciden con los estados estructurales más precarios, siendo necesario actuar sin demoras.

El plazo que se definió para la reparación de las viviendas fue de un año, para realizar las obras conforme a lo descrito en las secciones previas, aplicando una organización de obra adecuada y una planificación paralela de las tareas que permitió simultanear fases distintas en cada bloque del edificio.



**Figura 13.2.-** Ordenación urbanística de la zona. Fuente: PGOU Ayuntamiento de Sevilla

La necesidad de aportar una solución que garantice el recalde de la cimentación de manera efectiva, implica que la solución a adoptar no dé cabida a incertidumbres relacionadas con la falta de experiencia en la aplicación, o que sea susceptible de crear procesos patológicos derivados y que vuelvan a alarmar a los propietarios.

A nivel legal, la intervención en circunstancias de emergencia tiene cobertura tanto urbanística si se ordena por medio de decreto municipal el acometer las medidas necesarias para garantizar las condiciones de seguridad del inmueble, y para lo cual no es necesaria la redacción de documentación previa al inicio de las obras, como contempla la Ley de Contratos del Sector Público en las contrataciones bajo estas circunstancias, reduciendo los plazos de licitación y simplificando los procesos de contratación.

### **13.2.- Acciones sociales**

En intervenciones de emergencia en las que se ven afectadas las propiedades de las personas hay que dar respuestas, antes y durante las obras de reparación, a la totalidad de las necesidades. En el caso objeto de esta investigación, se llevaron a cabo una serie de acciones de carácter social destinadas a cubrir las

necesidades de las personas y que merecen ser descritas para la comprensión global del estudio.

Tal y como se indica en el Capítulo 5, donde se describen las circunstancias que rodearon el accidente del muro pantalla, tras el desalojo de las viviendas se generó un clima de crisis social puesto que se impidió el acceso a las viviendas afectadas durante las labores de diagnóstico inicial y la toma de medidas de seguridad como fue el desmontaje de la grúa torre con riesgo de caída o la estabilización del movimiento del muro pantalla mediante el vertido de bolos. Los propietarios, al verse despojados de sus pertenencias más básicas como ropa, alimentos, dinero o incluso medicinas durante los momentos iniciales, sufrieron de los efectos físicos y psicológicos propios de catástrofes de gran magnitud, estrés, desorientación, desinformación, fatiga, hipertensión, etc.

Para evitar reducir el impacto social se establecieron medidas destinadas a proveer apoyo social. Estas medidas se pueden diferenciar en dos grupos, clasificados por su duración temporal y la finalidad en ese periodo:

- Medidas inmediatas: las medidas llevadas a cabo en los días posteriores al accidente y destinadas a cubrir las necesidades básicas de las personas afectadas. Estas fueron:
  - Informar acerca de lo sucedido y de las medidas tomadas para mitigarlo.
  - Dotar gratuitamente de las comidas diarias a las personas afectadas.
  - Alojar a los afectados en hoteles del entorno.
  - Coordinar la entrada secuencial de las personas en sus viviendas bajo la supervisión del cuerpo de bomberos para la recogida de los enseres básicos.
  - Establecer un compromiso ajustado y estricto para la reparación de las viviendas y su devolución a los propietarios (1 año).
- Medidas durante la intervención: el conjunto de medidas desarrolladas a lo largo de toda la intervención en el edificio y destinadas a proveer de apoyo e información a las familias afectadas. Estas fueron:
  - Dotar de alojamiento en pisos de alquiler del entorno a las familias afectadas.
  - Trasladar los enseres y mobiliario de las viviendas a un guardamuebles durante las obras.
  - Establecer canales de comunicación con la asociación de vecinos, que los representó y organizar reuniones informativas periódicas con los propietarios afectados, para indicar las medidas tomadas así como el estado de desarrollo de las obras.

- Implicar a los propietarios en las decisiones relacionadas con la elección de materiales de terminación en la reparación de las viviendas y establecer turnos de visitas previas a la entrega.
- Establecer un plan de realojo progresivo de enseres y propietarios de las viviendas.
- Establecer un periodo de garantías y vinculación con la obra.

Considerando que el plazo de actuación sobre el edificio fue de un año, el reparto de estas medidas en ese periodo se corresponde con, un mes las medidas inmediatas y los meses restantes las medidas temporales. La intervención se caracterizó por seguir dos líneas de actuación claramente diferenciadas, por un lado la intervención técnica sobre el edificio y por otro, la intervención social de apoyo a las familias. Ambas discurrieron en paralelo e íntimamente ligadas entre sí (Figura 13.3), siendo la consecución de los objetivos de ambas lo que generó el éxito de la intervención.

El conjunto de medidas inmediatas dieron respuesta a las necesidades básicas de los propietarios, se les proporcionó alimentos durante los días que estuvieron alojados en hoteles mientras se coordinaba el alquiler de viviendas donde pudieran hacer una vida normal. El permitir que se accediera, tras la verificación de las mínimas condiciones de seguridad estructural por parte de los técnicos, permitió que los afectados recuperaran sus pertenencias más necesarias, documentación, dinero y demás elementos necesarios en la vida cotidiana, esto mitigó parcialmente las angustias o estrés característico de este tipo de situaciones de desastre.

La información sobre cómo actuar y las medidas que se estaban llevando a cabo para asegurar la estabilidad de su edificio, se canalizó a través de la asociación de vecinos, mediante reuniones informativas se hicieron públicos los compromisos para la reparación de las viviendas y su devolución en las mismas condiciones que se encontraban previamente.

El conjunto de este tipo de medidas permitió generar un clima de confianza muy valioso, la transparencia y la comunicación directa con los afectados así como el establecimiento de un objetivo temporal cercano para la devolución de las viviendas, permitió que se establecieran las bases de la relación con la promotora de las reparaciones, contribuyendo notablemente al éxito de la intervención.

La aplicación de medidas de carácter temporal permitió consolidar la relación con los propietarios de las viviendas, proporcionando viviendas de alquiler en el entorno cercano se consiguió no alejar a las personas de su barrio evitando la sensación de dispersión y desafección. Este punto fue muy valorado por las personas mayores y originarias de la época ferroviaria, muy arraigadas al barrio.

El traslado y custodia de los enseres y del mobiliario garantizó la conservación durante el periodo de las obras. Los propietarios estuvieron presentes en las labores de recogida y empaquetado de sus pertenencias, pudiendo decidir qué llevaban con ellos y qué se mantendría guardado hasta la vuelta a las viviendas. En este punto hay que indicar que fue determinante la implicación de la asociación de vecinos en la coordinación de las labores de traslado, estableciendo un calendario y organizando a los propietarios para realizarlo de una manera ordenada y planificada.

Se consideró necesario crear canales de comunicación directa entre la asociación de vecinos, como representante de los propietarios, y la dirección de las obras. Dada la entidad de las obras, su complejidad y carácter urgente, se decidió destacar a uno de los Directores de Ejecución de manera permanente en la obra, realizando las labores propias de sus funciones y, además, la coordinación y comunicación con la asociación de vecinos para todos los aspectos relacionados con las obras.

Además, se estableció un calendario de acciones informativas en asambleas de vecinos para dar a conocer las soluciones que se estaban llevando a cabo y el estado de desarrollo de la obra, los posibles adelantos o atrasos, así como cualquier circunstancia que se produjera (Figura 13.3). Transmitir conceptos técnicos y soluciones constructivas complejas a personas ajenas al sector de la construcción supone una barrera, el uso de un lenguaje muy técnico y de ideas complejas genera desconfianza en las personas afectadas, a este respecto cabe destacar la labor de uno de los directores de obra, que por su experiencia en formación trasladó a los vecinos, mediante un lenguaje e ideas sencillas, las actividades que se iban a llevar a cabo en las viviendas. Se permitió a los propietarios realizar todas las consultas que consideraran necesarias para esclarecer sus dudas respecto a las soluciones que se iban a realizar. La periodicidad de estas asambleas fue de tres meses, realizándose una al inicio de los trabajos de recalce, otra al finalizar y una previa a la entrega.

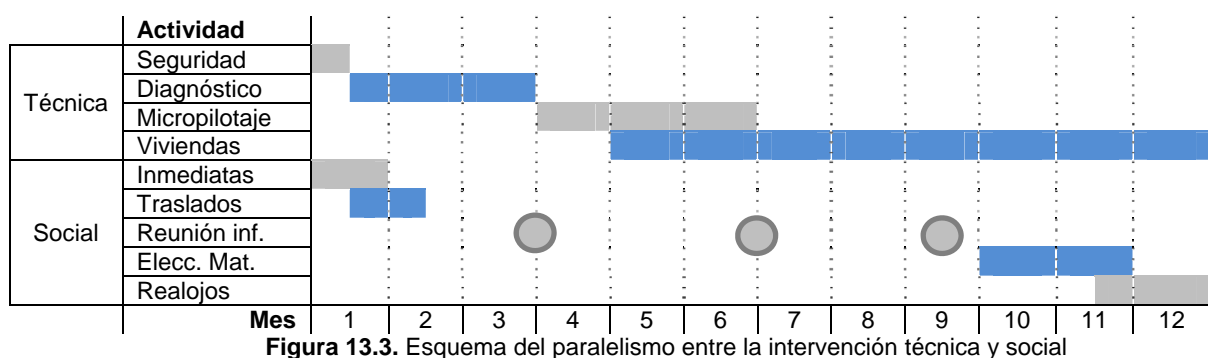


Figura 13.3. Esquema del paralelismo entre la intervención técnica y social

### **13.3.- Implicación vecinal en la reparación**

Otro de los aspectos que se consideraron determinantes fue la implicación de los propietarios en la reparación de sus viviendas, a pesar de que a nivel técnico la responsabilidad caiga exclusivamente sobre la dirección de obra, en aspectos como la elección de materiales se consideró oportuno implicar a las familias afectadas. Puesto que algunos de los materiales que fueron necesarios sustituir, especialmente los solados o alicatados, de todas las viviendas de planta baja no se encontraban ya disponibles, se optó por preseleccionar varios modelos de la misma calidad a los previos y permitir elegir a los propietarios entre ellos. La finalidad de esta actividad fue implicar a los propietarios y crear en ellos un clima proactivo frente a las tareas de reparación. En circunstancias similares, tras haber sido desalojados de las viviendas por causas ajenas a su voluntad, si se hubiesen impuesto los materiales de terminación cabría esperar la posibilidad de encontrar una reacción adversa en los propietarios indicando que no fuesen de su gusto o acordes con la estética anterior. Así mismo, de manera previa a la entrega de las viviendas, se establecieron una serie de turnos de visitas para que pudiesen hacer las aclaraciones oportunas a los trabajos realizados en ellas o reparar los desperfectos que observasen.

Ya en la parte final de la intervención y con el objeto de permitir una ocupación progresiva de las viviendas, se estableció un plan de realojo para los propietarios. Este se subdividió en cuatro fases, correspondientes a los bloques y que se realizaron de manera secuencial a medida que se terminaban los trabajos en cada uno de ellos. Entre cada realojo se necesitaron una o dos semanas en función del estado de los trabajos en el bloque, si bien el cómputo global no excedió mes y medio.

Además de las medidas anteriormente indicadas, la Universidad estableció el compromiso de que, más allá de terminar las obras y devolver las viviendas en el plazo de un año, dado que la construcción de la Facultad de Ciencias de la Salud aún se demoraría un año más, se mantendría la presencia sobre las viviendas a fin de solventar cualquier problemática o defecto que apareciese en relación a las obras llevadas a cabo.

Todas las medidas llevadas a cabo influyeron notablemente en el éxito de la intervención, tanto las de carácter inmediato, que generaron el apoyo de una relación de confianza de los propietarios con la Universidad, como las temporales, que permitieron un desarrollo fluido de las obras y una recepción favorable de las viviendas por parte de los propietarios.

### **13.4.- La gestión social y organización de obras de emergencia**

En facetas como la cooperación internacional o la gestión de grandes emergencias, entidades como Cruz Roja, la Organización Mundial de la Salud



(OMS), la Unidad Militar de Emergencias (UME) o el SAMUR, prestan mucha atención a la gestión de las víctimas en grandes accidentes, catástrofes naturales o conflictos internacionales, a pesar de no existir estudios científicos acerca de cuáles deben ser los apoyos a la salud mental y el bienestar psicosocial (Samper. E, 2014).

Situaciones de accidentes estructurales severos en edificios, como las descritas en esta investigación, y en posibles casos más graves donde se produzcan víctimas mortales, son muy similares a las que se pueden presentar en terremotos, inundaciones o conflictos, la única diferencia radica en el alcance de la población afectada y el número de propiedades. Respecto a las consecuencias sobre las personas sometidas a este tipo de circunstancias, se pueden presentar diferentes reacciones, si bien, cada persona reacciona de una manera distinta y en distinto grado a cada una de ellas:

- Psicológicas: Miedo, estrés, ansiedad, insensibilidad o incluso indiferencia.
- Fisiológicas: Dolores de cabeza, palpitaciones, náuseas, diarrea, tensión muscular, falta de sueño, etc.

Todas estas reacciones pueden llegar a afectar seriamente a la salud de las personas si no se trata adecuadamente, para evitarlo se diseñaron los denominados “Primeros Auxilios Psicológicos (PAP)” (OMS. 2012) y cuyo objetivo principal es brindar una respuesta humana, de apoyo a otro ser humano que esté sufriendo y que necesite ayuda. Los principios básicos de las PAP son: observar, escuchar y conectar, su tratamiento se basa en aplicar las siguientes premisas:

1. Brindar ayuda y apoyo práctico, de manera no invasiva.
2. Evaluar las necesidades y preocupaciones.
3. Ayudar a las personas a atender sus necesidades básicas (comida, agua, información).
4. Escuchar a las personas, no presionarlas para que hablen.
5. Reconfortar a las personas y ayudarlas a sentirse calmadas.
6. Ayudar a las personas para acceder a la información, servicios y apoyos sociales.
7. Proteger a las personas de posteriores peligros.

Está dirigida a personas que afectadas recientemente por acontecimientos graves; y puede ser aplicada por cualquier persona, no siendo necesario que sea un profesional de la psicología.

La importancia de esta técnica es que, eliminando la variable del tamaño de la catástrofe, es igualmente aplicable a circunstancias que se puedan dar tras un accidente estructural severo en un edificio, con o sin víctimas mortales, pero en el que se generan situaciones de gran estrés social.

Como se ha indicado en los dos apartados previos, la incidencia social que conllevan las obras en circunstancias de emergencia es un factor clave a tener en cuenta. La no consideración de este factor en la organización de las obras las dirige al fracaso, ya sea por el rechazo derivado de las incertidumbres de las personas hacia la entidad promotora de las obras, como por la falta de acuerdo entre las partes y la presión social en los medios de comunicación.

Ante la aparición de este tipo de situaciones, es normal que se acabe en los tribunales de justicia al no llegar a acuerdos entre los afectados. La obligatoriedad de contratar seguros por parte de los promotores y constructores mantiene la garantía de que la reparación quede económicamente cubierta, si bien, ante situaciones de desacuerdo, la ejecución de las medidas de reparación llegan después de largos procesos judiciales durante los cuales las personas afectadas se ven desplazadas de sus viviendas y sometidas a los problemas psicológicos y fisiológicos propios de estos procesos.

Existe una similitud muy directa entre la técnica PAP y las medidas sociales que se tomaron durante la reparación de la edificación, esto responde a que la técnica se basa en proveer de un apoyo humano a las personas afectadas, en cubrir sus necesidades y brindar seguridad, se pueden comparar en la Tabla 13.1.

<b>Respuestas definidas en la PAP.</b>	<b>Medidas sociales aplicadas a la obra.</b>
Brindar ayuda y apoyo práctico	Informar acerca de lo sucedido y de las medidas tomadas para mitigarlo
Evaluar las necesidades y preocupaciones	Coordinar la entrada secuencial de las personas en sus viviendas bajo la supervisión del cuerpo de bomberos para la recogida de los enseres básicos
Ayudar a las personas a atender sus necesidades básicas (comida, agua, información)	Dotar gratuitamente de las comidas diarias a las personas afectadas. Alojar a los afectados en hoteles del entorno en un primer momento y posteriormente en viviendas de alquiler.
Escuchar a las personas, no presionarlas para que hablen	Implicar a los propietarios en las decisiones relacionadas con la elección de materiales de terminación en la reparación de las viviendas y establecer turnos de visitas previas a la entrega
Reconfortar a las personas y ayudarlas a sentirse calmadas	Establecer un compromiso ajustado y estricto para la reparación de las viviendas y su devolución a los propietarios
Ayudar a las personas para acceder a la información, servicios y apoyos sociales	Establecer canales de comunicación con la asociación de vecinos, que representó a los vecinos, y reuniones informativas periódicas con los propietarios afectados, para indicar las medidas tomadas así como el estado de desarrollo de las obras
Proteger a las personas de posteriores peligros	Establecer un periodo de garantías y vinculación con la obra.

**Tabla 13.1.** Comparativa entre medidas PAP y Medidas aplicadas en la obra

A pesar de que el alcance de los daños físicos se reduzca a una única edificación y la población afectada a 40 familias, este tipo de situaciones crea mucho impacto social y afecta al entorno cercano del inmueble, donde el resto de familias quedan sensibilizadas frente al accidente.

Por ello, basándose en la técnica PAP, ante la ausencia de metodologías de intervención en la reparación de edificios en condiciones de emergencia, y gracias a la experiencia adquirida en la presente investigación, se puede esbozar en el Capítulo 15 de resultados una metodología básica para este tipo de situaciones que se ha mostrado muy efectiva y puede ser de gran utilidad en circunstancias similares.

## **14.- MODELO DE ACTUACIÓN**

El resultado final de la intervención sobre el edificio fue satisfactorio, ya que se cumplieron todos los objetivos, tanto técnicos como sociales. La multitud de circunstancias y dificultades que se presentaron a lo largo de las obras, así como el condicionante de la importancia social que conllevó devolver las viviendas a sus propietarios en el plazo de un año desde el accidente, se pudieron solventar gracias a aplicar una metodología concreta en todos los aspectos, internos como externos de la obra.

### **Plazo de ejecución**

Es interesante destacar el desarrollo temporal de las obras puesto que el tiempo es uno de los factores determinantes en el éxito de este tipo de intervenciones. En el caso de estudio, el plazo total desde el accidente hasta la devolución de las viviendas fue de 12 meses, cumpliéndose así los compromisos con las personas afectadas.

En las dos primeras semanas se llevaron a cabo todas las medidas de seguridad necesarias para controlar la situación y evitar la progresión de la patología. Igualmente se gestionó la protección e información a las personas afectadas y se adoptaron los compromisos para la devolución de las viviendas. Posteriormente se dedicaron 2,5 meses a realizar el diagnóstico del edificio, su caracterización y ensayos al terreno. Tras esto se comenzó el recalce por micropilotaje y que duró 3 meses, a medida que se finalizaba en cada bloque se comenzaron los trabajos de reparación de las viviendas que se extendieron 8 meses, solapándose 2 de ellos con las labores de recalce y siendo el total de 12 meses (Figura 14.1).

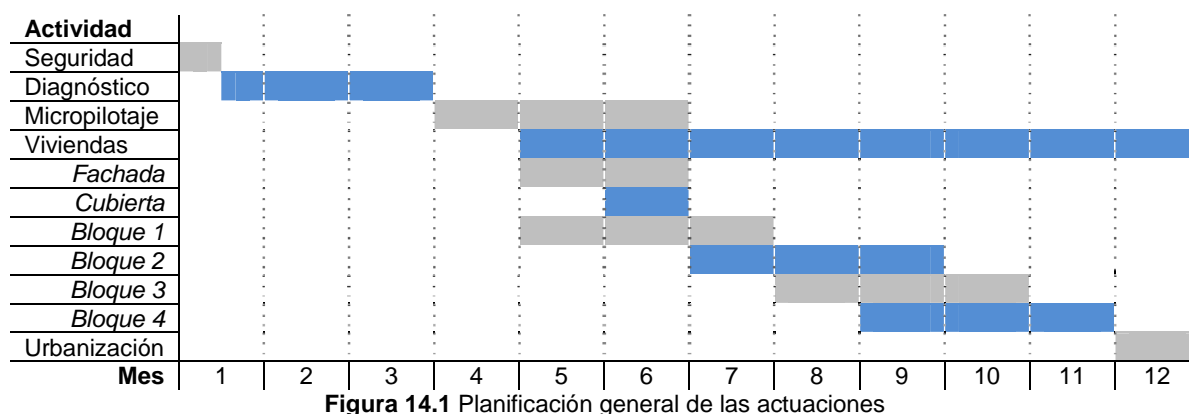


Figura 14.1 Planificación general de las actuaciones

De igual modo es interesante destacar los rendimientos de las actividades más importantes y que serán de mucha utilidad como referentes para futuras actuaciones.

- Recalce de cimentación: 232 unidades de micropilotes de 27 metros de longitud fueron ejecutados en 94 días laborales (resultado de sumar las jornadas realizadas 69 más 25 jornadas ejecutadas a doble turno), alcanzando un rendimiento global de 67 m/día, superior al teórico global definido por la empresa especialista que lo define en 54m/día.
- Reconstrucción de grietas: De la experiencia se ha podido concretar que en las labores de saneado de la zona, limpieza y reconstrucción de la grieta con material similar se emplearon alrededor de 3 horas por metro de grieta.
- Reparación de la cubierta: En las labores de levantado de la zona afectada y reconstrucción, además de la reimpermeabilización de 876m<sup>2</sup> de cubierta se emplearon 18 días, lo que implica un rendimiento de 0,16 h/m<sup>2</sup>.

### Coste de las obras

El relación al coste de ejecución de las obras, el total del importe de ejecución material (IEM) de la obra ascendió a 2.058.452,10€ incluyendo el recalce de la cimentación, la reparación completa y de su urbanización. Los presupuestos de la obra se realizaron conforme al modelo del Banco de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA, 2010) (Tabla 14.1).

Es destacable el peso del coste del recalce en la reparación del edificio, 26% del total, mientras que otras actividades como la albañilería y los revestimientos representan el 11% y el 14% respectivamente. Considerando que la superficie construida del edificio es 3.504,00 m<sup>2</sup>, supone una repercusión total de 587,46 €/m<sup>2</sup>. La repercusión del coste del recalce por superficie (superficie de planta de cimentación =876m<sup>2</sup>) es 622 €/m<sup>2</sup> de planta de cimentación. Este dato se de las estimaciones por del Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla para 2014 (COAS. 2014), donde un edificio plurifamiliar exento (bloque aislado) de superficie mayor a 2.500,00 m<sup>2</sup> y con una calidad básica tendría una repercusión de 572 €/m<sup>2</sup>, a

multiplicar un 1,25 (por incluir demoliciones y transformación importante de la cimentación), lo que resulta 715 €/m<sup>2</sup> y por lo tanto un IEM de 2.505.360,00€, un 22% mayor que el caso.

CAPITULO		TOTAL CAP	%Cap s/IEM
01	Demoliciones y trabajos previos	155.086,39	8%
02	Acondicionamiento de terrenos	27.037,11	1%
03	Cimentaciones	545.327,55	26%
04	Saneamiento	8.185,24	0%
05	Estructuras	17.115,87	1%
06	Albañilería	229.830,03	11%
07	Cubiertas	21.998,37	1%
08	Instalaciones	68.998,51	3%
10	Revestimientos	300.445,83	15%
11	Carpintería	68.591,40	3%
12	Vidriería	1.730,15	0%
13	Pinturas	121.996,05	6%
14	Equipamiento	103.857,99	5%
15	Urbanizaciones	321.340,95	16%
17	Gestión de Residuos	40.941,76	2%
19	Seguridad y salud	25.968,90	1%
	<b>IEM</b>	<b>2.058.452,10</b>	<b>100,00%</b>
	7 % Gastos Generales	144.091,65	
	6 % Beneficio Industrial	123.507,13	
	<b>ICal</b>	<b>2.326.050,87</b>	
	18%IVA	418.689,16	
	<b>ICdl</b>	<b>2.744.740,02</b>	

**Tabla 14.1.-** Desglose por capítulos del presupuesto de obra

Este presupuesto se desglosa a su vez (Tabla 14.2) en las principales actividades llevadas a cabo en la intervención y que son:

1. Recalce por micropilotaje.
2. Complementario al recalce y debido al exceso de consumo de cemento en la ejecución.
3. Trabajos previos exteriores, donde se recogen las tareas de implantación de la obra, vallados, apertura de cajas, demoliciones, etc.
4. Trabajos previos interiores, comprendidos por las demoliciones interiores en planta baja necesarias para el recalce.
5. Labores de reparación interior en el Bloque 1 (Calle TER 8).
6. Labores de reparación interior en el Bloque 2 (Calle TAF 6).
7. Labores de reparación interior en el Bloque 3 (Calle TAF 1).
8. Labores de reparación interior en el Bloque 4 (Calle TALGO 1).
9. Reparación de las fachadas, comprendida por la reparación de las fracturas en la fábrica de ladrillo, las carpinterías y el pintado de la totalidad de los bloques.
10. Trabajos complementarios en las viviendas, donde se recogieron actividades de reparación no recogidas en las decisiones iniciales.
11. Reparación de la urbanización y de la cubierta.



CAP	Micropilotaje	Complementario al micropilotaje	Trab. Previos exteriores	Trab. Previos interiores	Bloque 1 TER8	Bloque 2 TAF6	Bloque 3 TAF1	Bloque 4 TALGO1	Rep. fachada	Compl. viviendas	Urbanización y cubiertas
01			20.839,29	27.924,70	13.556,65	15.470,08	17.915,24	15.904,05	9.995,36	8.540,51	24.940,51
02					781,78	948,53	952,25	838,58			23.515,97
03	458.198,01	80.771,02									6.358,52
04			309,06		1.763,49	1.973,54	2.259,58	1.879,57			
05					3.974,20	4.574,34	5.003,36	3.563,97			
06			615,18		23.730,15	29.067,70	30.181,54	27.313,97	80.901,97	442,98	37.576,54
07											21.998,37
08			4.760,57		11.744,48	13.003,97	13.718,88	11.766,00		712,80	13.291,81
09											
10					41.066,23	48.741,95	50.163,36	45.501,81	11.572,81	14.196,21	89.203,46
11					3.223,20	3.732,91	3.792,87	4.337,47	814,59	1.508,04	51.182,32
12					492,45	336,57	322,80	578,33			
13					15.578,66	18.358,55	19.287,13	17.060,71	44.537,30	7.173,70	46.551,66
14					10.991,44	12.343,13	13.234,69	11.500,33		9.236,74	315.286,79
15			6.054,16								
17			1.961,44	8.105,27	2.018,66	2.447,81	2.598,21	2.457,90	922,74	1.143,60	19.286,13
19			5.593,47		1.656,08	1.988,84	1.962,69	1.879,56	1.781,83	445,20	10.661,23
	<b>458.198,01</b>	<b>80.771,02</b>	<b>40.133,17</b>	<b>36.029,97</b>	<b>130.577,47</b>	<b>152.987,92</b>	<b>161.392,60</b>	<b>144.582,25</b>	<b>150.526,60</b>	<b>43.399,78</b>	<b>659.853,31</b>
GG			2.809,32	2.522,10	9.140,42	10.709,15	11.297,48	10.120,76	10.536,86	3.037,98	46.189,73
BI			2.407,99	2.161,80	7.834,65	9.179,28	9.683,56	8.674,94	9.031,60	2.603,99	39.591,20
ICal	<b>517.763,75</b>	<b>91.271,25</b>	<b>45.350,48</b>	<b>40.713,87</b>	<b>147.552,54</b>	<b>172.876,35</b>	<b>182.373,64</b>	<b>163.377,94</b>	<b>170.095,06</b>	<b>49.041,75</b>	<b>745.634,24</b>
IVA	93.197,48	16.428,83	8.163,09	7.328,50	26.559,46	31.117,74	32.827,25	29.408,03	30.617,11	8.827,52	134.214,16
ICdl	<b>610.961,23</b>	<b>107.700,08</b>	<b>53.513,57</b>	<b>48.042,36</b>	<b>174.112,00</b>	<b>203.994,09</b>	<b>215.208,89</b>	<b>192.785,97</b>	<b>200.712,17</b>	<b>57.869,27</b>	<b>879.848,40</b>

Tabla 14.2.- Distribución del presupuesto por actividades

Precio Unitario Funcional del recalce de zapata (PUF)					
03		CIMENTACIONES			
03R		RECUPERACIONES			
03RZ		ZAPATAS			
03RZQ00001	u	RECALCE DE ZAPATA CORRIDA DE HORMIGÓN CICLÓPEO POR MICROPILOTAJE			
Recuperación de cimentación mediante recalce por micropilotaje de zapara corrida de hormigón ciclópeo, incluso trabajos previos, descabezado, limpieza y doblado de armaduras.					
Medida la cantidad ejecutada.					
Código		Concepto	Cantidad	Precio	Importe (€)
03RZC00001	m3	Apertura de caja en acerado	42,00	59,41	2.495,03
03RZR00001	u	Perforación en zapata desde el exterior	42,00	84,30	3.540,60
03RZR00002	u	Perforación en zapata desde el interior	188,00	75,52	14.197,76
03RZK00001	m	Micropilote "in situ" exterior terrenos consist.baja c/cam.acero Ø 60mm	1092,00	59,68	65.170,56
03RZK00002	m	Micropilote "in situ" interior terrenos consist. Baja c c/cam.acero Ø 60mm	4587,20	66,43	304.727,70
			Total. Costes Directos	390.131,65	
Precios unitarios simples descompuestos que constituyen el Precio Unitario Funcional del recalce de zapata (PUF).					
03RZC00001	m3	APERTURA DE CAJA EN ACERADO			
Apertura de caja en acerado, realizada con medios manuales hasta una profundidad máxima de 1,50 m, incluso perfilado de bordes, carga con medios manuales y traslado de residuos a cuba en obra, a una distancia máxima de 500 m.					
Medida en perfil natural					
Código	Ud	Concepto	Cantidad	Precio	Importe (€)
TP00100	h	Peon especial	3,100	18,28	56,67
MK00300	h	Carretilla mecánica basculante	0,750	3,65	2,74
			Costes Directos	59,41	
03RZR00001	u	PERFORACIÓN EN ZAPATA DESDE EL EXTERIOR			
Perforaciones en zapata desde el exterior para micropilotaje, realizada mediante equipo de perforación por rotación con corona de diamante en la totalidad de la altura de la zapata, incluso retirada de testigo.					
Medida la cantidad ejecutada					
Código	Ud	Concepto	Cantidad	Precio	Importe (€)
TO02200	h	Oficial 2ª	1,00	18,74	18,74
TP00100	h	Peón especial	1,50	18,28	27,42
MP80001	h	Equipo perforación c/corona diamante	1,00	38,14	38,14
			Total. Costes Directos	84,30	
03RZK00001	m	MICROPILOTE "IN SITU" EXTERIOR TERRENOS CONSISTENCIA BAJA C/CAMISA ACERO Ø 60 mm			
Micropilote "in situ" en exterior de edificio de diámetro exterior 140 mm, armado con camisa de acero de 60,3 mm de Ø interior y 5,5 mm de espesor de pared, hasta 27 m de profundidad, incluso descabezado, limpieza y doblado de armaduras; construido según EHE, NCSR-02 y CTE.					
Medida la longitud ejecutada desde la plataforma de apoyo del equipo.					
Código	Ud	Concepto	Cantidad	Precio	Importe (€)
MP80000	h	Equipo perforación micropilotes	0,183	29,36	5,37
MP00600	u	Repercusión s/útil, transp. máquina	1,000	1,82	1,82
GC00200	t	Cemento cem ii/a-l 42,5r a granel	0,125	92,54	11,53
CA80080	m	Camisa acero S 375 JR Ø 60 mm	1,000	26,46	26,46
TP00100	h	Peón especial	0,590	18,28	10,79
TO02100	h	Oficial 1ª	0,183	19,23	3,52
MC00100	h	Compresor dos martillos	0,030	6,35	0,19
			Total. Costes Directos	59,68	

Tabla 14.3. Precios Unitarios funcionales de las unidades de recalce.

Dada la relevancia de la recuperación de cimentaciones se considera oportuno, a fin de que para futuras intervenciones sirva de referencia, incluir los precios unitarios funcionales definidos para la obra (Ferreira. et al 2015. Artículo en revisión) y que se desglosan en la Tabla 14.3.

En cualquier obra de emergencia la estimación inicial de los costes esperados es muy compleja debido a la enorme cantidad de incertidumbres acerca de las actividades a realizar, con la divulgación de esta repercusión real se pretende favorecer las estimaciones futuras en circunstancias similares. En concreto, en relación a los recalces por técnicas como el micropilotaje y que suelen ser realizadas por empresas especializadas, se puede estimar el coste esperado en una actuación similar y en una tipología de terreno de carácter aluvial.

### **Organización de las obras**

Un aspecto clave para el éxito de la intervención y ejecutarla en el plazo definido, es la organización de la obra, que se consigue a través de:

1. definir una planificación completa con hitos temporales de control,
2. evitar las incertidumbres estableciendo qué y cómo se realizarán los trabajos,
3. implicar a los agentes y empresas participantes en la importancia de la consecución de los objetivos de la planificación.

En el caso de estudio se presentaron dificultades importantes durante el recalce, la perforación de la cimentación existente retrasó la planificación, la solución de aplicar más recursos materiales y ensayar distintas soluciones para cumplir el plazo definido se mostró muy válida. Así mismo, la ejecución en varios frentes de trabajo favorece la posibilidad de simultanear tareas que disminuyan el plazo total o permitir adoptar mayores holguras en la planificación. En el caso de investigación, la obra se subdividió en cuatro frentes de trabajo coincidiendo con cada uno de los bloques del edificio, esto permitió entregar de manera progresiva las viviendas y cumplir el objetivo temporal de un año.

Dentro de las actuaciones técnicas necesarias en este tipo de actuaciones, se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Contención de los daños y su desarrollo
2. Estudios y ensayos previos necesarios
3. Diagnóstico del edificio y elección de la solución a aplicar
4. Planificación de las obras
5. Trabajos previos de demoliciones o implantación
6. Reparación estructural del edificio
7. Reparación de elementos de la envolvente
8. Reparaciones interiores

## 9. Reparación del entorno afectado

La aplicación de esta secuencia lineal de trabajo se ha demostrado válida para la recuperación de edificios. A su vez, la subdivisión de la obra en varios frentes de trabajo planificados en los que aplicar esta secuencia, es una manera útil de acortar los plazos de ejecución.

### **Posibles soluciones**

Dentro de las posibles soluciones a elegir para la reparación de los distintos elementos del edificio, (cimentación, estructura, cubierta, etc), la experiencia ha demostrado que los plazos de reacción para iniciar las obras y consolidar estructuras en mal estado son muy ajustados y que a la hora de definir la solución a aplicar hay que tener en cuenta:

1. No se debe optar por soluciones que requieran dilatados estudios previos y retrasen el inicio de las obras de recuperación.
2. Soluciones que por sus elevados rendimientos pudieran producir futuras patologías secundarias. Esto queda patente en el análisis entre las posibles soluciones para el recalce, donde las inyecciones de cemento necesitan elaborados estudios previos o las inyecciones de poliuretano, con elevados rendimientos, no son recomendables para terrenos no consolidados o de tipo aluvial. Lo mismo ocurre con la reparación de las fábricas resistentes de ladrillo, donde soluciones como el cosido con grapas no aportan integridad y la utilización de bandas de FRP rigidizan excesivamente la estructura frente a futuros movimientos.
3. Las soluciones a adoptar deben estar disponibles en el mercado para asegurar su implantación inmediata en los casos de emergencia, deben garantizar la efectividad de las mismas por lo que no se consideran muy adecuadas aquellas que tienen una elevada carga experimental o no cuentan con la suficiente experiencia disponible para ser aplicadas al caso concreto.

La repercusión de este tipo de accidentes en la sociedad, que si bien no son frecuentes si son esperables tanto por desastres naturales como por los riesgos propios de la construcción en núcleos urbanos, casos como el hundimiento de inmuebles durante la construcción de una estación del metro en el Barrio del Carmel en Barcelona (2005) o el terremoto de Lorca en Murcia (2011), deben ser tenidos en cuenta la necesidad de minimizar los efectos sobre la vida de las personas directamente afectadas justifica la investigación en profundidad de este campo de la edificación. Es necesario crear referencias sobre cómo actuar en este tipo de situaciones, el tradicional recelo a hacer públicos los datos extraídos y las lecciones aprendidas de los accidentes de la construcción impiden el desarrollo del conocimiento y que en futuras ocasiones los agentes implicados sepan cómo gestionar situaciones similares.

De la experiencia se ha podido extraer una lección importante, válida para las reparaciones de futuros accidentes o catástrofes, la implicación de las personas afectadas en el proceso favorece enormemente las posibilidades de éxito. Es normal que los afectados recelen de la entidad que promueva la reparación. El trauma de verse desalojados de sus viviendas genera una actitud-reacción defensiva frente a la intervención en el inmueble que, a su vez, se ve potenciada por la incertidumbre sobre cómo actuar. Se ha demostrado que la implicación de las personas en el proceso genera una actitud proactiva en ellas, para ello se debe utilizar la comunicación y el compromiso como herramientas principales que creen un clima de seguridad y confianza.

### **Modelo de actuación propuesto**

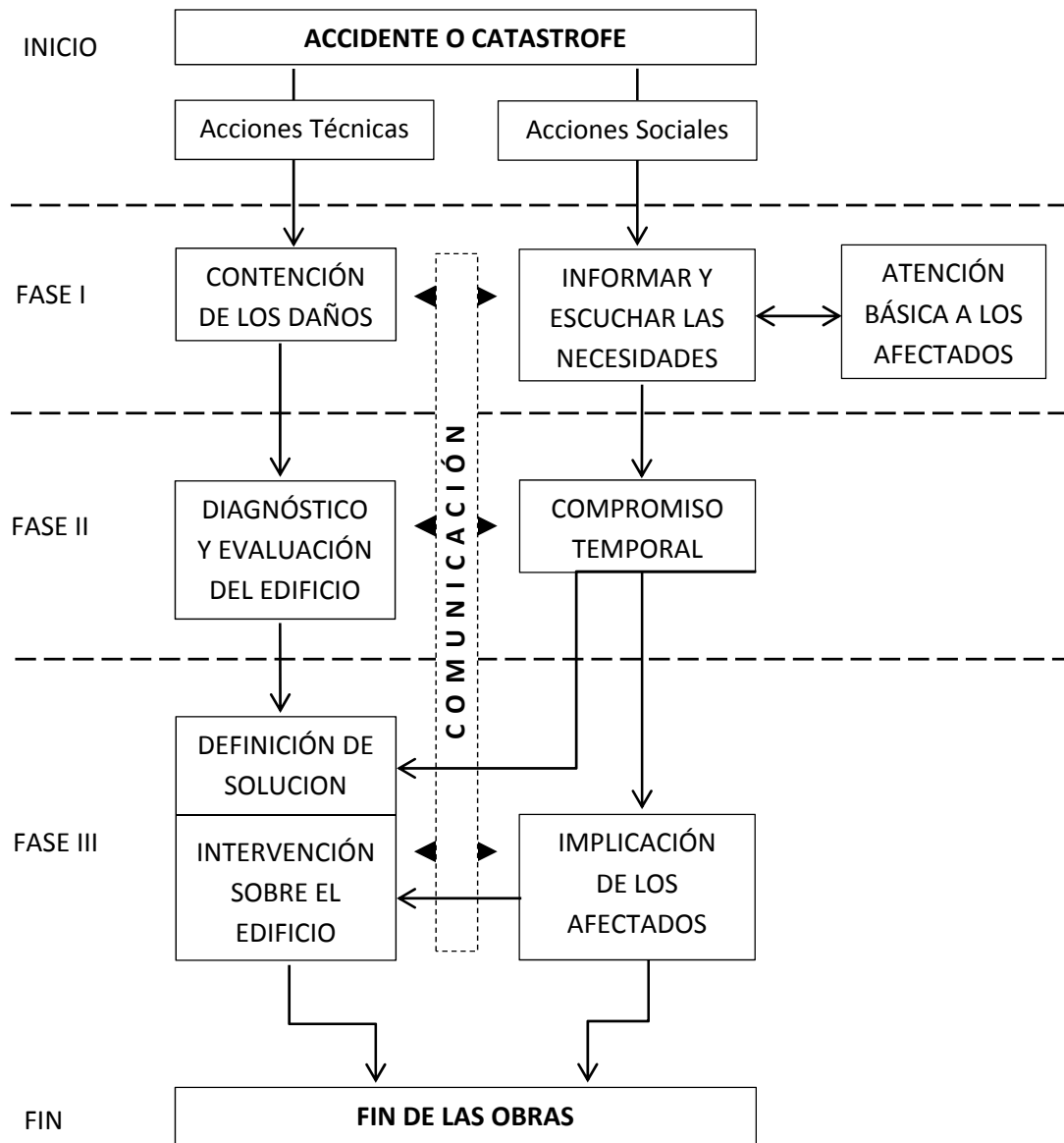
La ausencia de referencias en el ámbito de la edificación sobre cómo proceder en este tipo de situaciones, la reparación de un edificio residencial tras un accidente o catástrofe, hace que las lecciones aprendidas sean válidas para establecer un *“Modelo de actuación en edificaciones frente a daños y accidentes con repercusión social”* que se basa en relacionar las acciones técnicas con las acciones sociales. Estas desarrollan dos líneas de trabajo distintas, pero para conseguir el éxito (entendiendo éxito como la consecución de los compromisos que se adquieran, en el plazo definido y con una actitud favorable por parte de los afectados) deben relacionarse. De manera que, mediante la participación de las personas afectadas, se consigue crear un clima favorable tanto para la ejecución de las obras como para su recepción. Igualmente con esta participación se pretende rebajar las cargas de estrés y demás afecciones psicológicas que sufren las personas tras un evento traumático de este tipo.

La línea de trabajo técnica se basa en las acciones normales a llevar a cabo en una obra de emergencia, así tras un accidente con riesgo estructural deben:

1. Contener los daños para evitar el desarrollo y degradación de las condiciones estructurales.
2. Posteriormente diagnosticar las causas origen de los daños y evaluar el estado de la edificación como estado previo a la intervención en el edificio.
3. Definir la solución más adecuada a las circunstancias y características de la edificación, para inmediatamente comenzar la ejecución de estas.

Por otro lado, la línea de trabajo social se basa en las técnicas de PAP, dirigidas a dar respuesta en este tipo de situaciones. Esta línea de trabajo se compondrá de: una primera fase de información y atención básica donde se explicará a los afectados lo ocurrido, como actuar y se atenderán sus necesidades básicas de alimentos, alojamiento, medicamentos o atención sanitaria. Tras ello, la entidad u organismo responsable debe comprometerse a la reparación de las viviendas en un plazo ajustado y razonable, que permita reparar las viviendas y devolverlas a su estado previo o en un caso extremo, la demolición y construcción de nueva

planta de un edificio similar. Por último se debe implicar a las personas en el proceso constructivo, fuera de las decisiones exclusivamente técnicas, se puede permitir que los afectados tomen decisiones de carácter estético o de elección de materiales a su gusto. De igual modo, la realización de sesiones informativas de seguimiento de las obras y para resolver dudas acerca del desarrollo mejoran la percepción del proceso en los afectados, creando el necesario clima favorable (Ver Figura 14.2).



**Figura 14.2.-** Esquema del modelo de actuación propuesto.

La estructura de la metodología se expone en la Figura 14.1, se muestran claramente las dos líneas de trabajo diferenciadas, la técnica y la social. Entre ellas, como elemento de conexión y vertebrador a lo largo de toda el proceso, se encuentra la comunicación. Como se ha indicado previamente, la comunicación



es un elemento vital de la metodología, genera la confianza necesaria para que las relaciones entre promotor y afectados sean fluidas, además de eliminar las incertidumbres y los recelos, tanto sobre las soluciones a adoptar como los plazos.

El sistema se subdivide en tres fases, la primera donde se relacionan la contención de los daños y la atención básica a los afectados, la segunda donde debe diagnosticarse el origen y evaluar el estado de la edificación, informando a los afectados y adquiriendo un compromiso temporal ajustado y razonable para la intervención. Por último, la fase de definición de la solución a aplicar y que debe ser inmediatamente iniciada, en esta fase se debe hacer partícipe a los afectados.

#### FASE I:

Normalmente, en casos de riesgo estructural, se realizan desalojos urgentes por parte de los servicios de emergencias, es donde se muestran con mayor intensidad las reacciones en los afectados y para limitar los efectos de estas, las empresas u organismos causantes, deben proveer de toda la información a los afectados directamente. La implicación del ayuntamiento, en virtud de las responsabilidades urbanísticas, no debe restar la comunicación directa entre el causante y los afectados. Puede darse en caso en que en ausencia de un causante legal (como en los casos de desastres naturales), sea algún organismo de la Administración Pública al que se haga cargo de la implantación del modelo propuesto y del compromiso de actuación sobre la edificación.

Obviamente el paso inicial consiste en, tras el accidente o catástrofe, asegurar la zona mediante el vallado perimétrico y aplicar las medidas necesarias para evitar la progresión de los daños estructurales. Para ello, en función de los criterios técnicos, se puede apuntalar, acodalar o demoler los elementos que supongan un riesgo.

La atención básica a las personas afectadas debe ir encaminada a dotar de las necesidades básicas como alimentación, alojamiento, atención médica o psicológica especializada, en la medida de lo posible y siempre que no existan riesgos ciertos o inminentes, se debe permitir a las personas acceder a las viviendas de manera secuencial y acompañadas de personal especializado o de salvamento para recoger sus pertenencias más necesarias como documentación, dinero y objetos personales.

Se debe promover la creación de un grupo organizado entre los afectados y la elección de un representante, alguien que aglutine la voz de todos y sirva de interlocutor directo durante la intervención. Ya sea a través de este último o en común, se debe mostrar una actitud de comprensión y escuchar las necesidades de los afectados, tomando las medidas necesarias para solventarlas o en su defecto, poder gestionar cualquier ayuda o servicio externo.

### FASE II:

Se inicia, tras asegurar las condiciones estructurales, con el diagnóstico de las causas que generan la situación, debe realizarse por técnicos especializados y competentes en la materia, conocidas las causas debe realizarse una evaluación del edificio, de su estado estructural y la de su capacidad de ser recuperado o no. Cualquier proceso patológico puede llegar a ser muy complejo y requerir la realización de ensayos o pruebas al terreno o a los materiales de construcción. Deben realizarse en el menor plazo posible o, al menos, realizarse una evaluación preliminar que pueda ser trasladada a los propietarios. En este punto debe considerarse si es recuperable el edificio técnicamente o no y conforme a los condicionantes urbanísticos y legales. Obviamente en el caso de que se considere la demolición del edificio deberá redactarse un proyecto de nueva planta, el plazo para su redacción debe ser el mínimo posible también a fin de evitar prolongar el desalojo de los afectados.

En el frente social, tras la evaluación del inmueble, la empresa u organismo implicado debe comprometerse con los propietarios, ya sea devolviendo sus viviendas a su estado previo o construyendo una nueva edificación. Este compromiso debe ser público y comunicarse en común por un responsable de la entidad promotora, ello generará confianza y reconfortará a los afectados al ver el horizonte temporal de la vuelta a su propia vivienda. El objetivo temporal debe ser a la vez ajustado y factible, de nada vale comprometerse a ejecutar las obras en un periodo corto cuyo incumplimiento generará descontento en los afectados e invalidará el sistema. Igualmente establecer un objetivo temporal excesivamente conservador y prolongado puede afectar a los propietarios al crear inquietud. Debe ser un plazo ajustado y asumible, para ello es interesante contar con experiencias previas, como la de la presente investigación.

### FASE III:

El compromiso temporal condicionará la solución a adoptar, disponible en el mercado y equilibrada entre su coste y la efectividad de su resultado. Se deben evitar soluciones excesivamente complejas o que requieran dilatados estudios, soluciones disponibles para cualquier situación que pueda darse y debe escogerse la que permita su aplicación más inmediata y mejor garantice los resultados de su implantación. Incluir la definición de la solución y la intervención con ella en la misma fase responde a la necesidad de evitar lapsos de tiempo que puedan degradar el estado estructural del edificio.

Durante el desarrollo de las obras, la planificación de las actividades y su organización debe ser muy rigurosa, las empresas participantes en el proceso debe implicarse activamente, se las debe hacer conscientes de la responsabilidad social de la intervención. La planificación debe marcar los objetivos temporales y sus hitos intermedios de control, las holguras deben ser las mínimas posibles. Es

esperable que en cualquier obra aparezcan circunstancias que puedan consumir las holguras y demorar los plazos, en tal caso se deben reconfigurar los recursos asignados a las obras a fin de adecuar el ritmo de la obra a los hitos. La necesidad de resolver problemas de carácter material o técnico no esperado, debe acometerse en el menor plazo posible para, como se ha indicado, reasignar recursos y cumplir los objetivos.

Durante esta fase la implicación de los afectados es muy recomendable, la realización de reuniones informativas donde se explique el proceso, planificación de los trabajos e incluso se expliquen las soluciones constructivas es un valor añadido, permite a los afectados comprender qué se está haciendo y cómo se está llevando a cabo. Incluso permitir la elección de materiales de revestimiento para suelos, alicatados, etc, dentro de una variedad concreta de similares características, genera una actitud más receptiva en los afectados que se sentirán más identificados con la vivienda.

En los casos de realojos es conveniente, previa a la entrega de las viviendas, realizar visitas concertadas para que puedan ver el estado final de las obras y hacer las observaciones que consideren oportunas, en cuanto al estado y los posibles defectos que sean necesarios enmendar.

Para el realojo debe realizarse una planificación concreta, de manera que se produzca ordenadamente y sin interferencias entre los vecinos de las viviendas.

#### FIN DE LAS OBRAS:

La finalización debe realizarse en un ambiente de cooperación entre las partes y la finalidad de esta metodología es que la recepción de las obras se realice desde dicha perspectiva, incluso cualquier posible atraso, dentro de unos límites razonables, debe ser aceptado por los afectados si previamente se ha mantenido una comunicación fluida atendiendo a la comprensión mutua.

Es normal en las obras de emergencia que la documentación técnica y el proyecto se realicen a lo largo de la obra o incluso al finalizar esta. Debe recopilarse toda la documentación oportuna y aglutinarla en un proyecto o documento técnico que refleje las soluciones y medidas llevadas a cabo en la obra. La divulgación de las experiencias de este tipo enriquecerá el conocimiento global frente a este tipo de actuaciones y permitirá mejorar en el futuro los conceptos a aplicar en este tipo de situaciones.

## 15.- CONCLUSIONES

En la etapa de diagnóstico se concluye que la edificación objeto resultó dañada por un proceso de asiento diferencial en su cimentación superficial. La descompresión del terreno generó un desplazamiento vertical y horizontal de varias secciones de la zapata corrida, esto a su vez dañó la estructura portante de fábrica de ladrillo, reflejándose en arcos de descarga que afectaron a revestimientos, carpinterías, instalaciones, etc.

El origen de la patología se encuentra en la construcción de un edificio colindante. Los daños afectaron a la totalidad de la edificación en diferente magnitud, si bien, se identifica que el estado general del edificio se corresponde con el estado 3 o 4 (moderado o grave) y requiere la intervención para devolver las condiciones de estabilidad.

De los estudios realizados al terreno (sondeos, SPT, caracterización y reconocimiento geofísico) se pudo comprobar sus malas características, de mínima capacidad portante y elevada heterogeneidad en sus estratos e identificándose como único competente, las margas azules situadas a una profundidad media de 25m bajo rasante.

Analizada la cartografía histórica de la ciudad y superpuesta la actual, se ha detectado que la presencia de corrientes subterráneas se debe a que la zona ha estado claramente caracterizada por el transcurso de un antiguo alfanje del río, cegado *ex profeso* cuando el cercano brazo del río era parte viva de este. El rápido cegado por medio de la deposición de sedimentos de riadas es un factor a tener en cuenta en las características geotécnicas de la zona.

Tras la consulta de los archivos históricos del Instituto Nacional de la Vivienda se ha podido trazar, con certeza documental, el desarrollo original y las incidencias

que aparecieron durante la ejecución del grupo de viviendas. Es muy significativo que de las dos fases en que se construyeron las viviendas, la primera fuese cimentada por pilotes mientras que la segunda fuese cimentada por medio de zapatas corridas. Ya se detectó en la construcción de la primera la deficiencia del terreno de la zona, incluso haciendo mención al empeoramiento de este en sentido oeste (hacia la actual calle Abulcasis).

La monitorización del edificio mostró la efectividad de las medidas tomadas para la contención de los daños y la disminución de los movimientos que permitió la intervención.

En la etapa de reparación se intervino en la cimentación, los muros de carga, tabiquería, cubierta y revestimientos interiores. De todas las soluciones disponibles, se optó por la realización de un recalce de la cimentación por medio de micropilotes, siendo la que permite una implantación más inmediata tras el proceso de diagnóstico, genera menos incertidumbres y garantiza su efectividad por el traslado mecánico de las cargas al estrato competente, frente a técnicas tradicionales o de mejoras del terreno subyacente.

La estructura portante se reparó mediante la reconstrucción de las fracturas, eliminando las piezas dañadas de la fábrica y sustituyéndolas por otras de iguales características. Esta solución se considera más adecuada frente a soluciones como el cosido con grapas, las inyecciones o las bandas de fibras poliméricas, puesto que con ello se devuelve la homogeneidad y continuidad a la fábrica que permite devolverle su estado estructural previo además de no necesitarse medios especializados de menor rendimiento.

La cubierta se reparó mediante un levante parcial de las mismas en las zonas dañadas y su posterior reconstrucción, a fin de garantizar su funcionalidad se realizó una impermeabilización con pintura de clorocaucho y velo de fibra de vidrio.

Los revestimientos interiores se repararon siguiendo un criterio de similitud a los existentes y haciendo partícipes a los vecinos afectados. Para realizar las reparaciones fue muy determinante que una empresa de control acreditado documentase el estado y los materiales de las viviendas, reflejando el estado previo de cada una de las viviendas y pudiendo reconocerse los materiales a emplear en las zonas, principalmente en las que tuvieron que ser demolidas para el recalce como la planta baja.

Los procesos patológicos graves en edificios residenciales, en los que la estabilidad estructural está en riesgo, afectan de manera importante a las personas que viven en ellos. Desalojadas de sus viviendas, sufren psíquica y físicamente los mismos síntomas que en grandes catástrofes. No importa si el origen es natural (terremotos o inundaciones) o está en acciones del hombre

(grandes incendios o construcciones aledañas), el desalojo de las personas y los daños sobre el edificio crean situaciones de emergencia social que si no son resueltas de una manera efectiva influyen de manera muy negativa en la vida de las personas afectadas.

La implicación de estas circunstancias en el ámbito de la edificación está muy poco desarrollada y divulgada, debido principalmente a las posibles responsabilidades de las partes implicadas, por lo que se generan multitud de incertidumbres a la hora de afrontar este tipo de obras. Aspectos como los plazos, las soluciones constructivas elegidas y los costes, están condicionados por la emergencia social.

De la experiencia se ha podido concluir que, además de la aplicación de soluciones técnicas de rápida implantación, la definición de un plazo de ejecución real y ajustada, la correcta organización y una planificación eficiente, hay que añadir la implicación de las personas afectadas. Establecer canales de comunicación entre los afectados y el promotor de la recuperación, un compromiso temporal para la finalización y un clima de confianza, son factores necesarios en el proceso constructivo para garantizar su éxito. Favorece a estas circunstancias que los afectados se reúnan en torno a una organización vecinal que los represente y que canalice en ambos sentidos la comunicación entre afectados y promotora de las obras de reparación.

Finalmente del estudio se propone un modelo de actuación denominado: *“Modelo de actuación en edificaciones frente a daños y accidentes con repercusión social”*. Este modelo conjuga la experiencia técnica en este tipo de obras junto a los principios de los Primeros Auxilios Psicológicos y se desarrolla en tres fases a lo largo de dos líneas de actuación. Por un lado la técnica, con la contención de daños, el diagnóstico y evaluación, definición y aplicación de la solución elegida, mientras que la social está compuesta de las fases de: información y atención a las personas afectadas, establecer un compromiso temporal de actuación y finalmente la implicación de los afectados en el proceso de recuperación.

Puesto que las necesidades a resolver en este tipo de obras es el mismo independientemente del origen de las causas del proceso patológico, se considera válido para todas aquellas en las que edificios residenciales deban ser recuperados tras su desalojo por causas de riesgo estructural.

### **16.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

Como primera línea de investigación se propone la aplicación futura de este modelo en la recuperación de edificios de viviendas, documentando las acciones llevadas a cabo, los costes y sistemas constructivos, verificando la utilidad y su aplicabilidad, complementándolo y matizándolo según se pueda llegar a concluir. Con ello se verificará la efectividad del modelo y se podrán incluir las modificaciones necesarias, así como analizar los factores condicionantes en caso de aplicarse en distintas tipologías constructivas.

Como segunda línea de investigación se propone la creación de una base de datos pública de intervenciones de este tipo, en las que se reflejen datos como el tipo de proceso patológico, su origen, las medidas adoptadas para su contención, reparación, coste y plazo, así como las viviendas afectadas y las medidas sociales adoptadas para la resolución. Con ello se desarrollará el conocimiento en la material y se agilizará la toma de decisiones en este tipo de circunstancias a las personas y organismos implicados.

Por último, se propone añadir al modelo propuesto un estudio del impacto ambiental de las actuaciones, a través de indicadores como la huella ecológica o de carbono que permitan incluir, además el impacto económico y social, aspectos ecológicos a este tipo de intervenciones de recuperación de edificios.



## 17.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AGUILAR, J. JUÁRE, H. ORTEGA, R. IGLESIAS, J. The Mexico earthquake of september 19, 1985. Statistics or damage and retrofitting techniques in reinforced concrete buildings affected by the 1985 earthquake. *Earthquake Spectra*. 1989. Vol. 5, nº 1.

ALBA RODRIGUEZ. Ma DESIRÉE, (2016). “La huella ecológica de la reparación de edificios. Viabilidad económica y ambiental. Estudios de caso: Viviendas Renfe” Tesis en desarrollo. Directora: Madelyn Marrero Melendez. Universidad de Sevilla. Dpto. Construcciones Arquitectónicas II.

ANAGNOSTOPOULOS, S. MORETTI, M. Post-earthquake emergency assessment of building damage, safety and usability. Part 1: Technical Issues. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2008a. Nº 28. 233–244

ANAGNOSTOPOULOS S, MORETTI M. Post-earthquake emergency assessment of building damage, safety and usability. Part 2: Organization. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2008b. Nº28. 233–244

APRILE, Alessandra. BENEDETTI, Andrea. COSENTINO, Nicola. Seismic reliability of masonry structures strengthened with FRP materials. *Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*. April 18-22, 2006. Paper No. 1677

ARAGON FITERRA, Jorge. “Análisis estadístico de la patología de forjados de hormigón armado en la edificación gallega”. Director: Dr. Juan B, Pérez Valcárcel. Universidad de La Coruña. Dpto. Tecnología de la Construcción. 2010.

ARAIZA GARAYGORDÓBIL, G. "Reparación y refuerzo de paredes de obra de fábrica. Estudio experimental de la respuesta ante tensiones de corte" tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña. 2005.

ARCHIVO FIDAS-COAS. Archivo privado F. Barquín. Carpeta 4. Cajón 46. Escritos Viviendas Renfe. 2014.

ARZAMENA CAGIGAL, Pedro. *"Comportamiento del terreno durante las obras de construcción de la Línea 1 de Metro de Sevilla en los tramos de túnel entre pantallas y en las estaciones subterráneas"*. Director: Dr. Antonio Jaramillo Morilla. Universidad de Sevilla. Geotécnica e Ingeniería Sísmica.

AYUNTAMIENTO DE SEVILLA. *Plan General de Ordenación Urbana*. Resolución 16 de junio de 2006. Sevilla.

AYUNTAMIENTO DE SEVILLA. Exp. 93/2010 del Servicio de Conservación de la Edificación de la Gerencia de Urbanismo. 2010.

BARBOSA, B. *"Análisis del comportamiento de un edificio de obra de fábrica sometido a asentamientos inducidos por la perforación de túneles"*. Trabajo Fin de Master. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. 2010.

BRAVO GONZALEZ. Jose Luis. DE QUEROL SAHAGUN. Amelia. Colapso de la Estación del Carmel. Mapfre. *Gerencia de riesgos. Observatorio de siniestros*. Nº101. (Mayo/Agosto 2008).

BCCA, S. L. (2010). Memoria Base de Costes de la Construcción de Andalucía. Sevilla.

<http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/portalweb/web/areas/vivienda/texto/b28c72fc-4818-11e2-804b-e3c3905d6ca6>.

BOSCARDIN, M. O'ROURKE, T. D. "Building response to ground movements caused by an 18-meter-deep excavation." *Proc, Conf. on Large Ground Movements and Structures*, Halstead Press, New York, 1977. 162-183.

BOSCARDIN, M. D., CORDING, E. J., O'ROURKE, T. D. *Case studies of building behavior in response to adjacent excavation*. Final Report prepared by the University of Illinois at Urbana-Champaign for the U.S. Dept. of Transportation, Report No. UMTA-IL-06-0043-78-2. 1978.

BOSCARDIN, M. D., CORDING, E. J., O'ROURKE, T. D. Building response to excavation-induced settlement. *Geotechnical Engineering*, Vol. 115, No. 1, January, 1989.

BURLAND, J. B., WROTH, C. P. *Settlement of buildings and associated damage*. London, UK: Pentech Press. 1974.

BURLAND, J.B., BROMS, B.B. and De MELLO, V.F. "Behavior of Foundations and Structures," State of the art report, *9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, Vol. 2, 1977. pp. 495-546.

BUZZI. O, FITYUS. S, SASAKI, Y. SLOAN. S, Structure and properties of expanding polyurethane foam in the context of foundation remediation in expansive soil. *Mechanics of Materials*. 40. 2008. 1012–1021.

CAMÓS. C, MOLINS. C, ARNAU, O. Case Study of Damage on Masonry Buildings Produced by Tunneling Induced Settlements, *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*. 8:4. 2014. pp. 602-625.

CARREÑO, M. L., LANTADA N., IRIZARRY J., VALCARCEL J. A., BARBAT A. H. y GOULA X. Comportamiento Sísmico de los Edificios de Lorca. *Física de la Tierra*, Vol.24, 2012. pp. 289-314.

CELEBI M, BAZZURRO P, CHIARALUCE L, CLEMENTE P. Recorded motions of the 6 April 2009 Mw 6.3 L'Aquila, Italy, earthquake and implications for building structural damage: overview. *Earthquake Spectra*. 2010. 26: pp.651–684.

COAS. Método para el cálculo simplificado de los presupuestos estimativos de ejecución material de los distintos tipos de obra. *Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla*. 2014.

CONDE. FERNANDO, La vivienda y el espacio residencial en las áreas metropolitanas. En: "Entre el arraigo y la movilidad. La importancia de los imaginarios sociales en la movilidad residencia (VV.AA)" Centro de Estudios Andaluces. Sevilla. 2007.

CORTES JOSÉ. Joaquín; GARCÍA JAEN. Josefa; ZOIDO NARANJO. Florencio. PLANOS DE SEVILLA. COLECCIÓN HISTORICA (1771-1918). Servicio de Publicaciones del Ayto. de Sevilla. Sevilla 1992.

CORRADI. M, BORRI. A, VIGNOLI, A. "Experimental Evaluation of In-plane Shear Behaviour of Masonry Walls Retrofitted Using Conventional and Innovative Methods". *Masonry International*. 2008. Vol. 21, N°1.

CROCI, D., D'AYALA, D., D'ASDIA, P., y PALOMBINO, F. "Analysis on shear walls reinforced with fibres", IABSE symp. on *Safety and Quality Assurance of Civil. Engineering. Struct.*, Int. Assoc. For Bridge and Structural Engineering, Lisboa, Portugal. 1987.

DA CASA, F., ECHEVERRÍA, E. & CELIS, F. "Tratamiento perimetral con inyecciones armadas para excavación para parking subterráneo en Sevilla" *Libro de actas de las "2ª Jornadas Luso- Espanholas de Geotecnia*. Ed. Sociedad Portuguesa de Geotecnia. Lisboa, Portugal. 2005.

Da CASA, FERNANDO; ECHEVARRIA, ERNESTO; CELIS, FLAVIO. "La intervención bajo rasante, la importancia de su conocimiento. La técnica de la inyección armada". *Informes de la Construcción*. Vol 59, nº 505, 2007. pg: 21-35.

Da CASA, FERNANDO; ECHEVARRIA, ERNESTO; CELIS, FLAVIO. "El movimiento en la ejecución de recalces con inyección armada. Análisis de tres casos con movimientos previos". *Informes de la Construcción*. Vol 64, nº 528, 2012. pg: 507-518

Da PORTO, F., VALLUZZI, M. R., MODENA, C. "Performance assessment of different consolidation techniques for multi-leaf stone masonry walls", *ICPCM- A new era of building proceedings*, El Cairo. 2003.

De LUIS ROLDAN, Elena. "La tipología de las viviendas ferroviarias: una aproximación". *3º Congreso de historia ferroviaria* .Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Gijón 2003.

Dei SVALDI, A. FAVARETTI, M. PASQUETTO, A. VINCO, G. Analytical modeling of the soil improvement by injections of high expansion pressure resin. In *6<sup>th</sup> International Conference on Ground Improvement Techinques; Congress proceedings*, Coimbra, 18-19; July 2005: pg.577-584.

DIETZ, K, SCHÜRMANN, A; "Foundation Improvement of historic buildings by micro piles, Museum Island, Berlin and St. Kolumba, Cologne". En: *7<sup>th</sup> International Workshop on Micropiles. Proceedings*. Schrobhausen 2006.

ELABORA "Informe geotécnico. Escuela de Enfermería y Ciencias de la Salud. C/Abulcasis. Sevilla". 10 de agosto de 2010. (2010 a).

ELABORA "Reconocimiento de elementos de cimentación y estructura del edificio de viviendas en calle Abulcasis". 19 de agosto de 2010. (2010 b).

ERDEMGIL, M., SAĞLAM, S., BAKIR, B.S. "Utilization of highly expansive polymer injection to mitigate seismic foundation for existing structures." *8th Pacific Conference on Earthquake Eng.*, December 5-7, 2007, Singapore.

ESCRIBANO VILLAN, Joseba. *Siniestralidad arquitectónica: casuística, sintomatología y resultados*. Colegio Oficial de Arquitectos Vasco Navarro, 1993.

España. EHE-08. Instrucción de hormigón estructural. Real Decreto 1427/08, de 18 de julio. *Boletín Oficial del Estado*, 19 de julio de 2008.

F. HERBST. Thomas. "Historical Review and Analysis of 55 Years of Micropiles" *8<sup>th</sup> International Workshop on Micropiles. Proceedings*. Toronto 2007.

FEMA. *Rapid visual screening of buildings for potencial seismics hazards, a hand book*. 2nd. Edition. Federal Emergency Management Agency. U.S. Dept. Of Homeland Security. 2002.

FERREIRA SÁNCHEZ. Antonio, ALBA RODRÍGUEZ. Ma Desirée, RAMIREZ de ARELLANO AGUDO. Antonio, MARRERO MELENDEZ. Madelyn. "Recalce en condiciones de emergencia: 40 viviendas cercanas al Río Guadalquivir". *Informes de la Construcción*. Pendiente de Publicación.

FERREIRA SÁNCHEZ, Antonio. "*Descripción de daños y análisis de las soluciones de reparación en la cimentación en edificio de viviendas en la calle Abulcasis. (Sevilla)*". Proyecto fin de Master. Universidad de Sevilla. 2011.

FERREIRA SÁNCHEZ, Antonio. "*Descripción y análisis de las posibles soluciones correctoras a la patología presente en el cerramiento de parcela de la Real Fábrica de Tabacos*". Proyecto fin de Grado. Universidad de Sevilla. 2013.

FOTI, Sebastiano, MANASSERO. Mario, "Rinforzo e adeguamento delle fondazioni per sollecitazioni statiche e dinamiche." XXII ciclo de las Conferencias de Geotécnica. Italia: Turín, 18 - 19 de noviembre de 2009.

GERENCIA DE URBANISMO. PERI nº2 "Resolana-Prolongación de Torneo". Servicio de Planeamiento Urbano. Ayuntamiento de Sevilla. 1995.

GRUPO ESPAÑOL DEL HORMIGÓN. Encuesta sobre patología de estructuras de hormigón. Grupo Español de hormigón - Comisión GT IV - Boletín nº10, 1992.

JIMÉNEZ MARTIN, A. "El proyecto de sustitución de los pilares 4C y 5C de la Catedral de Sevilla". *Revista Patrimonio Cultural de España*, 2: 2009. Pg: 302-323.

JUSTO, J.L. *Influencia de la construcción del Metro de Sevilla en los edificios del entorno. Pasado y futuro del Metro de Sevilla*. Universidad de Sevilla. Secretariado de Publicaciones. Serie: Arquitectura nº16. 1994.

LAMAS LOPEZ, Valentín. "Valoración del Proyecto Estructural de Edificación en Galicia". Universidad de La Coruña. Dpto. Tecnología de la Construcción. 2010.

LASHERAS MERINO, Félix. "Sobre el concepto de causa, en patología de la construcción". En: *Actas del 4º Congreso de Patología y Rehabilitación de Edificios. PATORREB2012*. (Santiago de Compostela 12-14 abril de 2012). P4.03.

MAHR, J. W., MARINO, G. G. "Building response and mitigation measure for building damages in Illinois." *Proc. Workshop on Surface Subsidence Due to Underground Mining*, West Virginia Univ. 1981. Pg:238-252

MARRERO, M., RAMIREZ-DE-ARELLANO, A. The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management. *Construction Management and Economics*, 28: 2010. Pg. 495–507.

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETIVIDAD. Mapa Geológico de España 1:50.000 (Serie Magna). Hoja: 984. Instituto Geológico y Minero de España. 2014.

MINISTERIO DE FOMENTO. Archivo Central. Caja 2144. Viviendas protegidas 1956.

MINISTERIO DE FOMENTO. “Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera” pg.5. Madrid. 2005.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. RD 105/08 de 1 de febrero por el que se regula la producción y gestión de RCD.

MONJO CARRIÓ, J. *La patología y los estudios patológicos*. En AA.VV.: *Curso de patología, conservación y restauración de edificios*. Tomo 1. Ed. C.O.A.M. Madrid, 1991. ISBN: 84-7740-041-5. Cap. 1, p. 11-41.

ORBANICH. Claudio J. DOMINGUEZ. Patricia N. ORTEGA. NESTOR F. “Strengthening and repair of concrete foundation beams with carbon fiber composite materials”. *Materials and Structures*. 2012.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. War trauma Foundation y Visión Mundial Internacional. *Primera ayuda Psicológica: Guía para trabajadores de campo*. OMS. Ginebra. 2012.

ORTEGA Ilías. “Systematic Prevention of Construction Failures”. Universidad de St. Gallen (Suiza). *Quality Management and Technology Report*. No. 9, Enero 2000.

PASCUAL SANTAMARÍA, G., GONZÁLEZ, S. ALGUACIL ALGUACIL, L. Análisis de consecuencias y actuaciones de Protección Civil en el terremoto de Lorca (Murcia): Pre-Emergencia, Emergencia y Post-Emergencia. *Física de la Tierra*, 24, 2012, 343-362.

QUINEJURE. M, TATO. B; VALLEJO J.L. “Shigeru Ban. Arquitectura de Emergencia”. Fundación Caja de Arquitectos. 2011. Madrid. CD-ROM.

RAMIREZ DE ARELLANO AGUDO, ANTONIO. “Aspectos económicos de la recuperación de edificios”. Universidad de Sevilla. 2000. Sevilla.

ROCA. P; ARAIZA, G. “Shear response of brick masonry small assemblages strengthened with bonded FRP laminates for in-plane reinforcement”. *Construction and Building Materials*. 24 (2010) 1372–1384.

RODRIGUEZ BERNAL. Eduardo. “El Impacto del Tendido Ferroviario en la Ciudad de Sevilla: la Construcción y el Desmantelamiento del Dogal Ferroviario”. *Ferrocarril y Ciudad. Congreso de Historia Ferroviaria*. Aranjuez. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento. 2002. Pag. 205-222.

RODRIGUEZ ORTIZ, JOSE MARIA. "Intervenciones en cimentación: Técnicas aplicables y patología" en 7ª Sesión. *Actuaciones y rehabilitación en construcciones históricas y singulares/Jornadas técnicas SEMSIG-AETESS*. Madrid. 2007. Pg: 27-44.

RODRÍGUEZ-MAYORGA, E. YANES, E. COMPAN, V. SAEZ-PEREZ, A. "La restauración del templo parroquial de San Dionisio. La inyección como método de reparación de estructuras de fábrica". *Informes de la Construcción*. 65(529): 2013. Pg. 5-16.

ROMERO DURÁN, Beatriz (2007). *Sistemas para el recalce de cimentaciones superficiales*. Argentina: El Cid Editor - Ingeniería, 2007. ProQuest ebrary. Web. 5 February 2015.

SABAHATTIN Aykac; ILKER Kalkan, S.E., AFF.M.; BENGI Aykac; SERVET Karahan; and Sinan Kaya. "Strengthening and Repair of Reinforced Concrete Beams Using External Steel Plates". *Journal of Structural Engineering*, Vol. 139, No. 6, June 1, 2013.

SAMPER LUCENA. Eduardo. "La atención psicosocial en situaciones de emergencia". MINISTERIO DE DEFENSA. *Revista Española de Defensa*. Noviembre, 2014. Pg.44-45.

SANTA- MARIA, H. ALCAINO, P. Repair of in-plane shear damage masonry wall with external FRP. *Construction and Buildings Materials*. Vol. 25. 2010, Pg: 1172-1180.

SKEMPTON, A. W., MacDONALD, D. H. "The allowable settlement of buildings." *Proc, Inst, of Civ. Engrs.*, Part III, 5, 1956, pg: 727-784.

TAGHDI, Mustafa. BRUNEAU, Michel. SAATCIOGLU, Murat. "Seismic retrofitting of low-rise masonry and concrete walls using steel strips". *Journal of Structural Engineering*, Vol. 126, No. 9, September, 2000.

TAPAN. M; COMERT. M; DEMIR. C; SAYAN. Y; OARKAL. K; ILKI. A. Failures of structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011 Edremit (Van) earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 34 (2013) 606–628.

TRIAANTAFILLOU, T. C., FARDIS, M.N. "Advanced composites for strengthening historic structures", *IABSE symp. On Struct., Preservation of the Architectural Heritage*, Int. Assoc. For Bridge and Struct. Engrg., Lisboa, Portugal, 1993. pp. 541-548.

UNE 41805:2009. Diagnóstico de Edificios. AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid. 2009.

UNI 6350-68 "Materie plastiche cellulari rigide – Determinazione delle caratteristiche a compressione" Ente Nazionale Italiano di Unificazione. Milano. 1968.



VVAA. Fernando Barquín y Barón – Joaquín Barquín y Barón. *Imágenes de su archivo en los fondos FIDAS*. FIDAS-COAS. 2007. Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla.

VVAA. *Movimientos de edificios inducidos por excavaciones. Criterios de daño y gestión del riesgo*. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona 16/12/08.

Van RICKSTAL, F. "Grout injection of masonry, scientific approach and modeling" (PhD Tesis). Prof. dr. ir. D. Van Gerner. Department of Civil Engineering, Katholieke Universiteit Leuven. 2000.

VIEITEZ CHAMOSA. J.Antonio; RAMIREZ ORTIZ. J.Luis. "Patología de la Construcción en España. Aproximación estadística". *Informes de la Construcción*. Vol. 36. nº134. 1984. Pg. 5-15.

VITRUBIO POLIÓN, Marco, PERRAULT, Claude, and CASTAÑEDA, Joseph. *Compendio de los Diez Libros de Arquitectura de Vitruvio*. ED facs ed. Sevilla: Extramuros. 2007.

WAHLS, H. E. "Tolerable settlement of buildings." *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 107(11), 1981. Pg.1489-1504.

WARNER, James. "Structural Grouting to Repair Large Power Plant Foundation". *Grouting and Deep Mixing*. 2012.

ZHANG, H., XING, F. LIU, J. "Rehabilitation decision-making for buildings in the Wenchuan area". *Earthquake Construction Management and Economics*. (June 2011) 29, 569–578.